



EFFECTOS DEL CAMBIO DE USO DE LA TIERRA SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS EN LA MICROCUENCA DEL RIO ZHURUCAY.

RESUMEN

El objetivo principal de este estudio fue identificar los efectos del cambio de uso de la tierra sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos en la microcuenca del río Zhurucay, y dentro de ello determinar los efectos de la altitud en las propiedades físico-químicas de los principales suelos de la zona de estudio.

Para determinar los efectos de la altura sobre las propiedades de los suelos se aplicaron técnicas como el análisis de correlación y un análisis de clúster para identificar y explicar las relaciones existentes. Los resultados revelaron que la altitud no influye predominantemente sobre las propiedades físicas y químicas, aparentemente la cobertura vegetal influye notablemente en la formación de suelos, y también tiene una relación con los grupos de suelos.



Finalmente para identificar los efectos del cambio de uso de la tierra sobre las propiedades de los suelos se realizó un análisis discriminante y un análisis de componentes principales. Los resultados indicaron que en los horizontes superficiales la cobertura influye principalmente sobre las propiedades físicas, mientras en los horizontes subsuperficiales influye sobre las propiedades químicas.

Palabras claves: Propiedades químicas, propiedades físicas, análisis de correlación, análisis de clúster, análisis de componentes principales, horizontes superficiales, horizontes subsuperficiales

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	1
1. INTRODUCCION	10
1.1 OBJETIVOS	13
1.1.1. Objetivo General	13
1.1.2. Objetivos Específicos	13
1.2. HIPÓTESIS	14
Hipótesis alternativa (ha_1)	14
Hipótesis alternativa (ha_2)	14



2. MARCO TEÓRICO	15
2.1. PÁRAMO	15
2.2. IMPORTANCIA DEL PÁRAMO	16
2.2.1. Hidrología	16
2.2.2. Riego	19
2.2.3. Hidroelectricidad	20
2.2.4. Biodiversidad	21
2.2.5. Flora	22
2.2.6. Fauna	24
2.2.7. Impacto humano directo o indirecto	26
a) Agricultura con labranza	27
b) Reforestación con pinos	27
c) Forestación con especies nativas	29
d) Quemas	29
e) Pastoreo	30
f) Efecto combinado	31
g) Cambio climático	32



2.3. FACTORES FORMADORES DEL SUELO	33
2.3.1. Geología y Geomorfología	33
2.3.2. Clima	36
2.3.3. Organismos vivos	37
a) La vegetación	37
b) La Edafofauna	38
2.4. SUELOS DE PÁRAMO	39
2.4.1. Andosoles	40
a) Concepto y morfología	40
b) Propiedades	41
<i>Parámetros morfológicos</i>	43
<i>Parámetros físicos</i>	44
<i>Parámetros químicos</i>	45
2.4.2. Histosoles	47
a) Concepto y morfología	47
b) Propiedades	48
<i>Parámetros morfológicos</i>	48
<i>Parámetros físicos</i>	48
<i>Parámetros químicos</i>	50
3. MATERIALES Y MÉTODOS	52
3.1. ÁREA DE ESTUDIO	52



3.1.1.	Ubicación Geográfica y Político	–
	Administrativa	52
3.1.2.	Aspectos Biofísicos	53
	a) Clima	53
	b) Geología	54
	c) Suelos	56
	d) Biodiversidad	57
3.2.	MATERIALES	58
3.2.1.	Físicos	59
3.2.2.	Equipos	60
3.2.3.	Software	60
3.2.4.	Guías de campo	61
3.3.	DETERMINACIÓN DE LOS TIPOS DE COBERTURAS Y USOS DEL SUELO PREDOMINANTES.	
3.3.1.	Metodología	62
3.4.	CARACTERIZAR LAS PROPIEDADES FÍSICO – QUÍMICAS DE LOS PRINCIPALES SUELOS	63
3.4.1.	Textura	63
3.4.2.	Estructura	64
3.4.3.	Densidad Aparente	65



3.4.4.	Pruebas Hidrofísicas de campo	66
3.4.5.	Determinación de las propiedades de retención de agua en el suelo	65
3.4.6.	Análisis químicos	66
3.5.	DETERMINACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA ALTITUD EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – QUÍMICAS DE LOS PRINCIPALES SUELOS	72
3.5.1.	Metodología	72
3.6.	ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA COBERTURA VEGETAL Y CAMBIOS DEL USO DEL SUELO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS PRINCIPALES SUELOS.	74
3.6.1.	Metodología	74
4.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	77
4.1.	TIPOS DE COBERTURAS Y USOS DEL SUELO PREDOMINANTES	77
4.1.1.	Pajonal	78
4.1.2.	Bosque <i>Polylepis</i>	79
4.1.3.	Almohadilla	80
4.1.4.	Bosque montano alto	81
4.1.5.	Bosque de Pino	84



4.1.6.	Cultivo de papas	85
4.1.7.	Pajonal quemado	87
4.1.8.	Pasto	88
4.2	CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO – QUÍMICAS DE LOS SUELOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO ZHURUCAY.	90
	<i>Propiedades físicas</i>	91
	<i>Propiedades químicas</i>	100
4.2.3.	Efectos de la altitud en las propiedades físico- químicas de los principales suelos.	110
	a) Efectos de la altitud en los Epipedones	110
	b) Efectos de la altitud en los Endopedones	115
4.2.4.	Efectos de la cobertura vegetal y usos del suelo sobre las propiedades físico- químicas de los principales suelos.	118
	a) Efectos de la cobertura sobre el Epipedón	119
	b) Efectos de la cobertura sobre el Endopedón.	139
5.	CONCLUSIONES	150
6.	RECOMENDACIONES	154
	BIBLIOGRAFÍA	156
	GLOSARIO	179



ANEXOS

185



*Universidad de Cuenca
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Escuela de Ingeniería Agronómica*

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERIA AGRONOMICA
**“EFECTOS DEL CAMBIO DE USO DE LA TIERRA
SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS
EN LA MICROCUENCA DEL RIO ZHURUCAY”**

*Tesis previa a la obtención del
título de Ingeniero Agrónomo*

AUTORES:
Marcela Patricia Gavilanes Pando
Esteban Mauricio Landi Cubides

DIRECTOR:
Ing. M. Sc Patricio Crespo S.
CUENCA – ECUADOR

2011



1. INTRODUCCION

Los suelos de páramo se caracterizan por cumplir un rol importante dentro del proceso de regulación y almacenamiento de agua, sin embargo aún se desconocen procesos que tienen lugar a nivel del suelo (Borja et al, 2008), ocasionando que este desconocimiento lleve a muchas personas y organizaciones a alterar éstos ecosistemas, ya sea para usarlos en la producción agropecuaria (Morocho et al., 2002) o forestal (Ponce, 2000), las mismas que provocan una pérdida en la producción primaria (materia orgánica) por la alteración de la cobertura vegetal original (Hofstede, 1995; Ramsay y Oxley, 2001) teniendo un efecto directo en la regulación del agua.

Varios estudios realizados (Chacón et al., 2009; Dercon et al., 2000; Hofstede, 1995), han sugerido un fuerte impacto en las propiedades físicas y químicas de los suelos, como producto de una variación cronológica de la cobertura vegetal y del uso al que han sido sometidos. Sin embargo, estos estudios no consideran el criterio de cuenca hidrográfica, sino más bien el de parcela. Muchos de éstos estudios se centran en las



propiedades físicas o químicas de los suelos, pero son escasos los que consideran los impactos sobre las propiedades físico – químicas.

Estudios recientes como Buytaert (2004) y Dercon (1998), encontraron que la génesis de los suelos en el Austro Ecuatoriano están fuertemente relacionados con la altura, siendo los principales efectos una menor diferenciación del horizonte A, un incremento en el contenido de C-orgánico como consecuencia de un incremento en el contenido de la materia orgánica, horizontes superficiales muy oscuros y una estructura tipo migajón. Por lo que la ocurrencia de ciertos tipos de suelos y sus características, se presenta en ciertos rangos de altitud de manera independiente de la cobertura vegetal y el uso del suelo, por factores como posición fisiográfica, mineralogía de las partículas de suelo, procesos de mineralización, entre otros; y que suceden a distintas altitudes.

Es precisamente por la carencia de estudios concretos que se considera la realización del presente trabajo donde se pretende encontrar la influencia de la altura, el cambio de uso



del suelo y de la cobertura sobre las propiedades físico-químicas del suelo, que se lo hizo mediante la determinación de los principales usos de suelo y coberturas, y la caracterización de las propiedades físicas y químicas de los principales grupos de suelo encontrados en el área de estudio.



1.1. OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General

Identificar los efectos del cambio de uso de la tierra sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos en la microcuenca del río Zhurucay.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Determinar los tipos de coberturas y usos de la tierra predominantes.
- Caracterizar las propiedades físico – químicas de los principales suelos de la microcuenca del río Zhurucay.
- Determinar los efectos de la altitud en las propiedades físico-químicas de los principales suelos.



- Estudiar los efectos de la cobertura vegetal y cambios del uso del suelo sobre las propiedades físico-químicas de los principales suelos.

1.2. HIPÓTESIS

Hipótesis alternativa (ha_1)

La altura influye en las propiedades físicas y químicas de los suelos.

Hipótesis alternativa (ha_2)

El cambio de usos del suelo y de la cobertura vegetal, afecta a las propiedades físicas y químicas de los suelos.



2. MARCO TEÓRICO

2.1. PÁRAMO

El páramo es un ecosistema neotropical alpino – húmedo, que cubre aproximadamente la región alto andina de Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú (Hofstede et al., 2003). El páramo consiste de planicies y valles accidentados de origen glacial con una gran variedad de lagunas, pantanos y praderas húmedas (Buytaert et al., 2006), extendiéndose entre el límite del bosque cerrado y la nieve perpetua en los trópicos húmedos (Buytaert et al., 2011).

En términos relativos, el Ecuador es el país con la mayor área cubierta por páramos con respecto a su extensión total de América Latina (Mena y Hofstede, 2006). Beltrán et al. (2009) manifiesta que en el Ecuador, el páramo asciende a 1'843.477 ha, es decir aproximadamente un 7% del territorio nacional. De las actuales 27 áreas protegidas (que incluyen parques nacionales, reservas ecológicas, áreas nacionales de recreación, refugios de vida silvestre y reservas de



producción faunística), 14 contienen importantes extensiones de páramo (Iñiguez, 2003). En el Azuay, el páramo cubre un área aproximada del 25,5 % (2200 km²) de la superficie total de la provincia (Plan de desarrollo integral de la Provincia del Azuay, 1991).

2.2. IMPORTANCIA DEL PÁRAMO

2.2.1. Hidrología

El agua del páramo es vital para el funcionar de las poblaciones que viven en las ciudades alto Andinas. El agua que desciende de los páramos tiene un uso doméstico, agrícola, industrial y para la generación de energía. Ciudades como Quito, Cuenca, Bogotá, consumen agua que es proveniente casi exclusivamente del páramo (De Bièvre et al., 2006).

El páramo está caracterizado por un clima frío y húmedo, la temperatura media a 3500 m s.n.m. está alrededor de 7° C (Buytaert, 2004), la temperatura desciende con la altitud, con



un gradiente promedio de 0.5 a 0.7 °C por cada 100 m (Bacuilima et al., 1999; Castaño, 2002). La temperatura media del aire es relativamente constante durante todo el año, pero los ciclos día-noche son marcados con temperaturas cercanas a cero por la noche y pueden llegar a 14°C durante el día (Buytaert et al., 2007). La precipitación promedio es de 900 a 1600 mm al año y tiene una baja variabilidad estacional.

Por otro lado, el consumo natural de agua en el páramo es muy bajo, debido a la predominancia de pajonales y de hierbas xerofíticas, esto combinado con la buena cobertura del suelo, resulta en una de baja evapotranspiración. Esto a pesar de las condiciones climáticas favorables para una alta evaporación (De Bièvre et al., 2006).

Estimaciones de la evapotranspiración en el páramo están entre 1 y 1.5 mm día⁻¹ (Hofstede, 1995; Buytaert, 2004). Como resultado de la baja evapotranspiración, hay un gran excedente de agua, alimentando los ríos que descienden



hacia las regiones costeras y a la cuenca amazónica. Mediante la evapotranspiración, entre otros factores ecológicos, los ecosistemas de alta montaña de páramos y subpáramos regulan el ciclo hídrico característico (Mora, 2002). Junto a una alta producción de agua, la capacidad de regulación de agua del páramo es casi legendaria entre agricultores y científicos (Luteyn, 1992; Hofstede, 1995; Medina, y Vásconez, 2001; Poulenard et al., 2001; Podwojewski et al., 2002; Poulenard et al., 2003). De hecho muchos ríos de páramo proveen un flujo base sostenido a través del año (Buytaert et al., 2004). Según Crespo et al. (2011) el flujo base sostenido es atribuido principalmente al clima, la topografía y los suelos.

En la literatura, se da el mayor crédito de la alta regulación de agua a los suelos del páramo (Luteyn, 1992; Medina, y Vásconez, 2001; Poulenard et al., 2003; Crespo et al., 2011). La estructura del suelo muy ligera y porosa y la extraordinaria capacidad de almacenamiento de agua confirman la habilidad del suelo para una buena regulación de agua (De Bièvre et al., 2006).



La capacidad del páramo como almacenador y distribuidor del agua, se basa en la estructura especial de los suelos, protegidos por la vegetación que crece sobre ellos, éstos funcionan como una esponja que recoge y distribuye el agua de manera constante, incluso en épocas de sequía (Mena y Hofstede, 2001).

La importancia hidrológica de las zonas de montaña se encuentra en agudo contraste con su vulnerabilidad (Iñiguez, 2003). Aunque es una zona bastante remota y desolada con poca actividad humana, éstos ecosistema ha proporcionado una importante función socio económica a la comunidad andina como su principal fuente de agua (De Bièvre et al., 2006).

2.2.2. Riego

El riego en las montañas del Ecuador es una práctica muy antigua (De Bièvre et al., 2004). Ya en los tiempos precolombinos, la cultura Cañari y otras fueron muy activas



en la construcción de grandes esquemas de riego. Los Incas mejoraron estas infraestructuras aplicando el conocimiento de otras culturas conquistadas en lo que hoy es Perú y Bolivia. Casi la totalidad del riego en la sierra ecuatoriana se hace con agua del páramo (De Bièvre et al., 2004).

Actualmente en el Ecuador, cerca de 50000 ha de tierra son regadas, representando el 30 % del total del área agrícola (De Bièvre, 2002). De las cuales una gran parte son regadas con aguas que nacen o provienen de los páramos húmedos. Esto, conjuntamente con la baja tasa de eficiencia de riego, viene poniendo fuerte presión sobre el recurso agua.

2.2.3. Hidroelectricidad

De Bièvre et al. (2004) afirma que el páramo tiene muy buena aptitud para generar energía hidroeléctrica. La topografía provee excelentes sitios para la construcción de presas pequeñas, y los constantes y confiables flujos base garantizan una generación permanente. Ejemplos de centrales hidroeléctricas dentro del páramo son: Saucay y



Saymirín con una capacidad de 14.4 MW y 24 MW respectivamente, cerca de la ciudad de Cuenca (ELECAUSTRO, 2005); otra es la Central Pisayambo al norte del país con una producción anual de 230 GWH (CELEC, 2010). Sin embargo, también otras centrales como la central Paute con producción 4900 GWH (CELEC, 2010), una de las más grandes plantas hidroeléctricas de la región Andina, obtienen gran parte de sus aguas del páramo. Se estima que entre el 25 y el 40% del agua que llega al embalse de Amaluza se origina en el páramo en la Cordillera Oriental y Occidental, sin embargo este valor se incrementa durante el estiaje (Buytaert et al., 2006).

2.2.4. Biodiversidad

De acuerdo a Hedberg y Hedberg (1979), los páramos forman parte de una notable biodiversidad a escala de ecosistemas que se presenta en el Ecuador gracias a tres factores principales: la situación ecuatorial, la presencia de la cordillera de los Andes y otras sierras menores, la existencia de una fuente perhúmeda amazónica y de varias corrientes



marinas frías y cálidas frente a las costas. Dada la gran altitud y por consiguiente las bajas temperaturas y la alta incidencia de neblina e irradiación solar, el clima es muy extremo para los seres vivos presentes. El clima durante el año es estable, pero hay una diferencia muy marcada entre el día y la noche, lo que se puede resumir en “verano todos los días, invierno todas las noches”.

No obstante su gran altitud y sus extremas condiciones climáticas, los páramos muestran una notable pluralidad de seres vivos en varios grupos, especialmente plantas, aves, anfibios y mamíferos (De Bièvre et al., 2004). Estas especies, provenientes del norte, el sur, de la Amazonía o evolucionadas en el propio páramo desde hace millones de años, cuando los Andes empezaron su ascenso como una gran arruga tectónica (van der Hammen y Cleef, 1986; Ulloa y Jørgensen, 1995), se han adaptado a condiciones climáticas extremas.

2.2.5. Flora



La alta irradiación solar, las bajas temperaturas y sus cambios drásticos a lo largo del día, han generado una biodiversidad especial que presenta adaptaciones como la vellosidad, los colores oscuros, la pequeñez y dureza en las hojas, la protección de órganos jóvenes en materia (viva o muerta) producida con anterioridad y la disminución del metabolismo en las horas de más frío, entre otras (Mena y Hofstede, 2006).

A todos los niveles de la biodiversidad (genes, especies y paisajes) no hay más representantes en el páramo que en otras zonas de vida (Mena, 2001). Entre los primeros grupos encontramos a las poáceas dentro de varios géneros: *Stipa*, *Calamagrostis* (Hofstede et al., 1995); varias herbáceas llamativas se encuentran esparcidas, entre las que podemos citar: *Bartsia laticrenata*, *Gentianella longibarbata* y *Senecio chionogeton*.

El “páramo de almohadillas” se encuentra en los sitios más húmedos. Está formado por plantas tan apretadas entre sí que forman especies de almohadones (Ulloa et al., 2005),



pudiendo estar formados por un solo individuo o por varios individuos de la misma o de distintas especies. Entre las más notorias se encuentran *Azorella pedunculata* y *Plantago rigida*. La vegetación arbustiva y arbórea se conforma de especies de arbustos con hojas gruesas y duras como *Berberis lutea*, *Chuquiraga jussieui* y *Pernettya prostrata*, entre muchos otros; los parches de bosques esparcidos alrededor de las lagunas, en pendientes y barrancos, están compuestos principalmente por especies de los géneros *Polylepis* y *Gynoxis* (Ulloa et al., 2005).

2.2.6. Fauna

Los animales de los páramos también presentan importantes adaptaciones para guardar el calor, repeler el viento y la lluvia helada a través de pelajes densos y colores oscuros (Mena, 2001).

El número de aves en el páramo ecuatoriano es de 88 especies, de las cuales el 70% se las encuentra en el páramo y en zonas más bajas (Carrión, 2000). Dentro de las aves



más importantes tenemos el cóndor andino (*Vultur gryphus*) que es el ave voladora más grande del mundo, el curiquingue (*Phalcoboenus caruncuculatus*), el gavián (*Buteo polyosoma*), la bandurria (*Theristicus melanopis*), el pato de páramo (*Anas andium*), el colibrí estrellita de Chimborazo (*Oreotrochilus chimborazo*); entre otras especies.

En los páramos ecuatorianos existen 49 especies de mamíferos (Tirira, 2000) que son difíciles de observar, pero seguramente el más común es el conejo (*Sylvilagus brasiliensis*), otros de los mamíferos más grandes y representativos de los páramos es el oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*) y la danta de altura (*Tapirus pinchaque*), también podemos encontrar 3 especies de venados, entre los cuales tenemos: el de cola blanca (*Odocoileus virginianus*), el soche o cervicabra (*Mazama rufina*) y el ciervo enano (*Pudu mephistophiles*), que son diferenciables por su tamaño (de mayor a menor respectivamente) (Mena, 2001). Otro de los mamíferos muy comunes en los páramos ecuatorianos son los camélidos más comúnmente llamados como: llamas (*Lama glama*), las alpacas (*Lama pacos*) y el guarizo, que es



un híbrido entre las dos. La vicuña (*Vicugna vicugna*) es una especie que continúa en estado silvestre o semisilvestre y que también es aprovechada (White, 2001).

2.2.7. Impacto humano directo o indirecto

En el Ecuador, millones de personas dependen directa o indirectamente del buen estado de conservación del páramo, lo que demuestra la gran importancia ecológica y económica de este ecosistema para nuestro país (Coppus et al., 2001; Hofstede et al., 2002).

Sin embargo, el páramo actualmente es uno de los ecosistemas más amenazados debido principalmente a la expansión de las zonas de cultivo, las prácticas pecuarias entre ellas las quemas y el sobrepastoreo, la introducción de especies exóticas, la minería y la cacería; que han o están transformando este frágil pero rico paisaje continuo de



turberas, arbustos, pastos y rosetas gigantes en un paisaje de pastizales pobres y fragmentados (Beltrán et al., 2009). Incluso fenómenos globales como el cambio climático, tienen impactos negativos sobre la biodiversidad de este ecosistema, que afectarían especialmente a las especies que son incapaces de adaptarse a condiciones rápidamente cambiantes (Buytaert et al., 2011).

a) Agricultura con labranza

De acuerdo a De Bièvre et al. (2004) el principal efecto de la labranza en los suelos del páramo es la degradación irreversible de la estructura, como consecuencia de la disminución de la materia orgánica y de ciertos minerales (alófona, imogolita). Esto causa generalmente una disminución de la retención de agua, aumento de la hidrofobicidad y destrucción de la materia orgánica, dando como resultado una menor regulación del agua (Buytaert et al., 2006).

b) Reforestación con pinos



Las especies no autóctonas como *Pinus radiata* y *Pinus patula* son dominantes en las plantaciones de la serranía ecuatoriana. Debido a su rápido crecimiento éstos pinos son comúnmente plantados para la producción de madera, control de erosión del suelo, y para el secuestro de carbono (Buytaert et al., 2007). Por el contrario, los conocimientos y experiencia sobre el manejo de las especies de árboles nativos es aún escasa (Medina et al., 2000; Hofstede et al., 2002; Farley y Kelly, 2004).

Sin embargo, se ha observado que las plantaciones de pino consumen demasiada agua, disminuyen el rendimiento hídrico por disminución del contenido de humedad del suelo, razón por la cual, podría presentar una mayor descomposición y pérdida de fertilidad (Medina et al., 2000). Esta acelerada descomposición no es compensada por la entrada de nueva materia orgánica, ya que la acícula de pino es muy uniforme y resistente a microorganismos; así que el suelo bajo plantación de pino tiende a ser menos orgánico y más seco que un suelo de páramo natural (Hofstede, 1997).



La alteración en las condiciones microclimáticas y edáficas provoca a su vez, cambios importantes en la estructura y diversidad de la vegetación natural (Medina et al., 2000).

c) Forestación con especies nativas

La forestación con especies nativas puede ser importante en la medida de que ayuda a proteger el suelo. Sin embargo, la pregunta clave es: si la (re)forestación en el páramo con especies nativas ayudará a mantener los caudales en épocas de estiaje? La respuesta no existe pero sin duda podría producir efectos desconocidos, probablemente reduciendo la producción hídrica (Hofstede, 2001), al igual que ha ocurrido en otros países con ecosistemas similares al páramo (Bosch y Hewlett, 1982; Duncan, 1995; Putuhena y Cordery, 2000). El pajonal es probablemente un protector de suelo igualmente bueno y de menos consumo de agua. Sin embargo evidencias contundentes no existen y falta mucha investigación al respecto (Hofstede, 2001).

d) Quemadas



Las quemas pueden afectar severamente la estabilidad del suelo. Estas prácticas inducen a la formación de agregados del suelo hidrofóbicos y estables con alta repelencia al agua (Wada, 1985; Golchin et al., 1997; Piccolo y Mbagwu, 1999; USDA, 2000). El grado de la repelencia de agua depende de la cantidad y del tipo de la materia orgánica (Poulenard et al., 2001). Sin embargo, éstos serían los efectos de la quema de alta intensidad que llegue realmente a la superficie del suelo. En la mayoría de incendios de pajonal este no es el caso. No existe investigación suficiente relacionada al efecto de las quemas sobre las propiedades del suelo (De Bièvre et al., 2004).

e) Pastoreo

La resistencia mecánica de los Andosoles e Histosoles es muy baja, al ser pisados éstos suelos se compactan y pierden así su extraordinaria capacidad de retención de agua (De Bièvre et al., 2004); esto como producto de la disminución de la porosidad (Buytaert, 2004).



El efecto del pastoreo sobre el suelo, por un lado, es indirecto: por el daño causado a la vegetación que tiende a desaparecer la capa vegetal, tan importante para la protección del suelo; pero también hay un efecto directo: el pisoteo que compacta el suelo. La compactación está causada por el peso de los animales, pues el suelo del páramo, por su alto contenido de materia orgánica, es suelto y suave, dejándose compactar fácilmente (Hofstede, 1995).

El sobrepastoreo deja al suelo sin protección contra el sol. Secándose la parte superficial del suelo en forma irreversible, volviéndose extremadamente vulnerable a la erosión hídrica y eólica (típica situación en la provincia de Chimborazo) (Buytaert et al., 2006).

f) Efecto combinado

Cuando la ganadería se combina con la quema, los efectos de las dos se suman. Por la quema, la vegetación vieja desaparece y el suelo queda más descubierto. Cuando



después de la quema el ganado es introducido, consume los nuevos rebrotes, frenando así la recuperación de la vegetación (Hofstede, 1995).

El efecto de ganadería y quema sobre la composición de la vegetación es más notable cuando vienen juntas. Ambas tienen un efecto negativo sobre algunas especies típicas del páramo, principalmente en arbustos y hierbas endémicas, pero benefician a otras, especialmente las malezas exóticas (Verweij, 1995).

g) Cambio climático

De Bièvre et al. (2004) estudiaron que es posible que exista un cambio de régimen de precipitación en los Andes ecuatorianos y por consecuente en los páramos. Debido a la inexistencia de registros históricos es imposible comprobarlo. Aún si hubiera un cambio en la precipitación en los páramos, hay otro efecto del cambio global de clima que seguramente tendrá un impacto mucho más alto sobre la hidrología de los



páramos, esto es la disminución del área de páramo mismo, por efecto del ascenso de la temperatura.

Con relación a esto, el mismo autor manifiesta que, los Andosoles, responsables de la regulación hídrica, dependen de la temperatura fría para su existencia. Si la temperatura sube la descomposición de la materia orgánica aumenta y los suelos pierden su capacidad de regulación y sus propiedades; un aumento de apenas 0.6 °C producirá que los Andosoles que actualmente existen desde los 3300 m s.n.m., existirán desde los 3400 m s.n.m. reduciendo su superficie, por ejemplo en la cuenca del Paute en un 14 % del 26%.

2.3. FACTORES FORMADORES DEL SUELO

2.3.1. Geología y Geomorfología

Los páramos se encuentran en las cumbres de la cadena montañosa de los Andes. Las partes más importantes de



esta banda van desde el centro de Colombia hasta el centro del Ecuador, teniendo una fuerte actividad volcánica reciente. Las caídas de cenizas son principalmente de composición andesítica a riodacítica y la cubierta base de la banda andina está hecha de rocas sedimentarias y metamórficas (Podwojewski y Poulenard, 2000), de edad Paleozoica hasta Jurasica (Lips, 1998).

La geomorfología y los materiales parentales de las partes altas y centrales de sierra Ecuatoriana están determinados por el volcanismo que sucedió en el Oligoceno (<biblio>). En el sur del Ecuador (Chunchi-Saraguro), encontramos las lavas más ácidas (riolítica y dacítica) de la formación Tarqui, la misma que se caracteriza por flujos de lava y piroclastos de composición andesítica a riolítica en la cordillera occidental. En el Plioceno, con las tobas, conglomerados y brechas de la formación Turi terminó el volcanismo en el sur del Ecuador (Lips, 1998).

La geomorfología del páramo fue modelado por la extensión del glaciar durante las fases de los principales glaciares en altitudes superiores a 4000 m s.n.m., con la formación de



grandes valles en forma de “U”, lagos y relieves alisados, distinguiéndose dos formas: 1) las formas altamente erosionables afectadas por las recientes deposiciones de ceniza volcánica, con pequeñas colinas uniformes de formas cóncavas y convexas con suaves pendientes y conos volcánicos aislados (> 5000 m s.n.m.) que emergen de estas cadenas, y 2) rocas no volcánicas o lava dura que fluye con muescas en las cumbres y laderas empinadas (Podwojewski y Poulenard, 2000).



2.3.2. Clima

Las condiciones climáticas tienen marcadas consecuencias sobre la evolución de los suelos, siendo la baja temperatura promedio y/o las condiciones de humedad las que definen la evolución de los mismos (Pourrut, 1994).

Como factor principal, se considera la temperatura, ya que interfiere en aspectos como: a) La reducción de la actividad biológica, debido a las temperaturas medias bajas, en consecuencia, la mineralización de la materia orgánica disminuye, permitiendo a su vez acumularse en grandes cantidades. b) La temperatura reduce la velocidad de la alteración de la roca madre en parte por una disminución en la actividad de bacterias que incrementan la alteración meteorológica (Podwojewski y Poulenard, 2000).

Otro factor condicionante en la evolución de los suelos, es la humedad, presentándose en forma de lluvia con una variación importante (entre 500 y más de 3000 mm año⁻¹), o a través de precipitaciones ocultas (neblina, lloviznas, etc.), manteniendo al suelo con humedad constante permitiendo su evolución rápida (Podwojewski y Poulenard, 2000).



2.3.3. Organismos vivos

a) La vegetación

Las plantas de los páramos tienen una morfología y otras características anatómicas y fisiológicas típicas, entre las que son notorias la densa pubescencia y las hojas pequeñas, coriáceas y brillantes, compensan las extremas condiciones de vida de las alturas. Entre estas condiciones ambientales están: sequedad, baja presión atmosférica, cambios extremos de temperatura, intensa radiación ultravioleta y los efectos de los vientos (Cuatrecasas, 1968; Körner y Larcher, 1988; Luteyn 1999).

Algunas de las características que las protegen de las condiciones climáticas extremas también han servido para protegerlas del fuego que hoy forma parte del régimen de la mayoría de los páramos (Laeggard, 1992).

La vegetación esta en íntima relación con el suelo, interviniendo en procesos como: aceleración de la



meteorización física, química y biológica, aporte de materia orgánica, desarrollo de estructura por el aporte de materia orgánica y la acción de raíces, favorece la circulación del agua y el aire, actúa como filtro a la radiación solar, lluvia, escorrentía superficial y viento (Porta et al., 2003). Gracias a la acción de la vegetación sobre los suelos de páramo podemos decir que tienen muchas de sus características.

b) La Edafofauna

Al tratar el tema de los organismos como factor formador de los suelos, no puede dejar de mencionarse la edafofauna, en sus niveles micro, meso y macro, de la cual se conoce muy poco en el caso de los suelos de páramo. La acción de los microorganismos, tan fundamental en los procesos de mineralización y humificación, es muy baja por las condiciones ecológicas adversas del páramo. En el caso de los organismos de tamaño más grande, los estudios de Cortes (1994) y Chamorro (1989), señalan que la mayor población se registra en los horizontes O; las taxonomías principales y típicas de los suelos de alta montaña son



Enchytreidae, Lumbricidae, Collembola, Coleoptera, Diptera y Arachnida.

Según Cortés (1994) y Chamorro (1989), los cambios drásticos sean éstos naturales u ocasionados por el hombre (quemadas, pastoreo, actividad agrícola) inciden negativamente sobre el componente biótico del suelo y, por lo tanto, sobre su proceso evolutivo.

2.4. SUELOS DE PÁRAMO

Las condiciones de formación de los suelos dependen de tres factores principales que son el clima, la roca madre y la edad de los suelos. El clima es común a la mayor parte de los páramos del Ecuador, es el principal factor de la pedogénesis pero la diferenciación de los suelos de páramos se debe



principalmente a la diferencia de roca madre entre el norte y el sur del país (Podwojewski y Poulenard, 2000).

2.4.1. Andosoles

La palabra Andosol proviene del japonés (an, negro y do, suelo). En 1949, Thorp y Smith, definieron el gran grupo de los Andosoles, dentro de unas de las clasificaciones genéticas, pero que en la actualidad, por la necesidad de propiedades cuantificables son equivalentes al recientemente definido Andisols en Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2006) y grupo de referencia Andosol, dentro de la clasificación de la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo, WRB (FAO, 2006).

a) Concepto y morfología

Los Andosoles se desarrollan a partir de material piroclástico de varias composiciones y tienen una fracción coloidal dominada por minerales de rango – corto (alófana e imogolita) o complejos organometálicos (aluminio – humus)



(van Rast, 1997). Las características morfológicas y físicas de los Andosoles están fuertemente determinadas por el estado de meteorización y las condiciones climáticas (Buytaert, 2004); adicionalmente la existencia de una capa homogénea de cenizas de erupciones volcánicas del cuaternario determina las propiedades de este suelo (Buytaert et al., 2005).

De acuerdo a la FAO (2006) las propiedades ándicas pueden encontrarse tanto en la superficie como subsuperficialmente. Generalmente el horizonte superficial ándico contiene una elevada cantidad de materia orgánica (más del 5%), se caracteriza por su color muy oscuro, tienen macroestructura esponjosa y con frecuencia, consistencia grasosa. Son livianos en peso (baja densidad aparente), y mayormente tienen textura franco limosa o más fina. Los horizontes ándicos superficiales pueden ser poco profundos, alcanzando con frecuencia un espesor de 50 cm o menos (característica páquica). Los horizontes ándicos subsuperficiales generalmente son de color algo más claro.



Dependiendo del tipo de proceso de meteorización que actúa sobre el material de suelo los horizontes ándicos pueden tener propiedades diferentes. En climas perhúmedos, los horizontes ándicos ricos en humus pueden contener más del 100 % de agua (en volumen) comparado con su volumen seco en estufa (característica hídrica) (FAO, 2006).

Las dos mayores propiedades ándicas, que se reconoce son los que contienen material alófono y minerales similares (sil – ándico) y otro en el cual prevalece el aluminio acomplejado por ácidos orgánicos (alu – ándico). Las propiedades sil-ándicas tienen una reacción ácida a neutra, mientras que las propiedades alu-ándicas varía de extremadamente ácido a ácido (FAO, 2006).

El material cerca de la superficie es el más joven y el menos alterado. En productos volcánicos viejos la complejidad del suelo es menos evidente, y llega a ser más claro solo después de realizar un estudio de la composición de minerales. El enraizamiento en los Andosoles es denso y las



raíces penetran profundamente en el suelo. La actividad de la mesofauna puede ser intensa (Deckers et al., 1998).

b) Propiedades

Según Deckers et al. (1998) un número de propiedades físicas es típico de los Andosoles, por ejemplo: baja densidad aparente, alta microporosidad, variando entre 60 y 90%, una alta capacidad de retención de agua, un alto valor de deshidratación irreversible, una buena estabilidad de los microagregados, poca dispersión coloidal, alta susceptibilidad a la erosión y una alta friabilidad cuando seco (estado polvizo, baja densidad, agregados flotantes). La macroporosidad es altamente desarrollada en el horizonte superficial, pero hay una macroporosidad restringida en el horizonte subsuperficial. Los Andosoles tienen una alta permeabilidad y generalmente una gran capacidad de almacenamiento de agua.

Parámetros morfológicos



- El color general del horizonte superior es negro debido a la alta tasa de materia orgánica (Podwojewski y Poulenard, 2000).
- La estructura es muy estable con microagregación y alta porosidad; son suelos resistentes a la erosión, con una buena tasa de humedad y una gran permeabilidad que permite un buen desarrollo de las raíces (Podwojewski y Poulenard, 2000).

Parámetros físicos

- La densidad aparente es baja ($<0,9 \text{ g cm}^{-3}$) y se han registrado valores de hasta $0,13 \text{ g cm}^{-3}$ (Borja y Garrido, 2003; Buytaert, 2004).
- La tasa de retención del agua es muy elevada (del 70% en los suelos vítricos hasta 200% en los Andosoles no alofánicos en función del peso seco). Esta alta tasa de retención de agua a 100 KPa (pF 3) sirve como criterio de diferenciación en los mapas de suelos en el Ecuador (Podwojewski y Poulenard, 2000).



- Esta retención de agua es reversible hasta un punto; después, la sequía es irreversible. La alta tasa de capacidad de retención de agua es debida a la alta porosidad. Cuando el suelo se seca, éste se retracta y el tamaño de los poros disminuye, lo que tiene como consecuencia una notable baja en la capacidad de retención de agua (Maeda et al., 1977).

Parámetros químicos

- Los Andosoles no tienen arcillas mineralógicas bien cristalizadas. La presencia de minerales pocos o no cristalizados está caracterizada por la extracción por oxalato en un medio ácido sobre tierra fina. $Al_{ox} + Fe_{ox} > 2\%$ caracteriza a un Andosol típico, mientras que un suelo con propiedades ándicas (vitrosol) tiene las siguientes propiedades: $0.4\% < Al_{ox} + 1/2Fe_{ox} < 2\%$ (Podwojewski y Poulenard, 2000);
- La presencia de aluminio en forma paracristalina (aluminio-silicato u oxihidróxido) se diferencia del aluminio en complejo con la materia orgánica por la tasa



de Al extraído por pirofosfato (Al_{py}) y Al extraído por oxalato (Al_{ox}): $Al_{py}/Al_{ox} > 0.5$ por los complejos aluminio-orgánicos;

- La tasa de carbono orgánico es muy alta. Son los suelos, después de los Histosoles (turberas), que tienen la más alta cantidad de carbono. Esto se explica por el régimen de temperatura con promedio bajo y por la formación de complejos aluminio-orgánicos muy estables y parcialmente tóxicos para algunos microorganismos que descomponen la materia orgánica. Los Andosoles ácidos de tipo no alofánicos tienen una capacidad de fijación de carbono más alta que los alofánicos. Esta materia orgánica se caracteriza por la presencia de ácidos húmicos con fuerte poder de coloración negra. Este proceso se llama melanismo. Este tipo de ácidos húmicos está relacionado con la presencia de gramíneas (Poáceas) en los páramos (Shoji et al., 1990).
- Los Andosoles tienen cargas variables que dependen del pH. La capacidad de intercambio catiónico es función



del pH del suelo. Cuando el suelo pierde sus cationes, su pH y su capacidad de retención de cationes baja al igual que su capacidad de retención aniónica se incrementa (Podwojewski y Poulenard, 2000).

2.4.2. Histosoles

Suelos de turba y pantanos: del griego histos, tejido (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007).

a) Concepto y morfología

De acuerdo a IUSS Grupo de Trabajo WRB, (2007) los Histosoles están formados por material orgánico, que se desarrollan predominantemente en zonas frías y de alta precipitación bajo turbas de musgos, turba de almohadillas y turba de bosques. Los Histosoles se encuentran en todas las altitudes, pero la gran mayoría ocurren en tierras bajas, mientras que en otros lugares, están confinados a cuencas y depresiones pobremente drenadas, pantanos y marismas con



agua freática somera, y áreas de tierras altas con una alta relación precipitación– evapotranspiración.

b) Propiedades

Parámetros morfológicos

- La mayoría de los Histosoles tienen perfiles H o HCr. La transformación de restos de plantas a través de la descomposición bioquímica y la formación de sustancias húmicas crea una capa superficial de humus. El material orgánico translocado puede acumularse en capas más profundas, pero es más a menudo percolado del suelo (FAO, 2006).

Parámetros físicos

- La mineralización es lenta y la transformación de restos vegetales a través de la desintegración bioquímica y formación de sustancias húmicas crea una capa superficial de moho con o sin saturación con agua



prolongada. El material orgánico translocado puede acumularse en capas más profundas pero más frecuentemente es lixiviado del suelo (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007).

- La materia orgánica incrementa la capacidad de retención de agua. El hecho de que la materia orgánica aumente la capacidad de retención de agua del suelo no significa necesariamente un aumento en las existencias de agua disponible para las plantas, dado que la materia orgánica retiene el agua con bastante firmeza, de donde el porcentaje constante de marchitamiento crece, la materia orgánica produce un aumento limitado de la cantidad de agua disponible en los suelos arenosos y limosos. Además, el suelo granular que resulta de las agregaciones de materia orgánica, suministra más agua que el suelo pegajoso impenetrable (Thomane et al., 1978).

Parámetros químicos

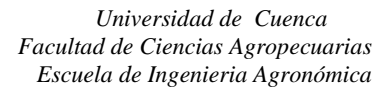


- La amplia variación en las características físicas de los Histosoles está ajustada por una igual amplitud de variación en propiedades químicas. Químicamente ricas (o “eutróficas”), las turbas bajas cenagosas pueden tener un valor de pH en campo mayor que 6, mientras que, los pantanos elevados de turba son pobres en nutrientes y tienen valores de pH en campo que están típicamente entre 3 y 5.5. Histosoles extremadamente ácidos con un valor de pH de campo de alrededor de 3 han sido observados en regiones costeras conteniendo pirita (FeS_2) en los pantanos turbosos, cuando éstos fueron drenados (FAO, 1998).
- La fracción orgánica de la turba consiste en lignina, celulosa, hemicelulosa y pequeñas cantidades de proteínas, ceras, taninos, resina, suberina, etc. Las turbas ombrógenas de musgo en regiones templadas y frías se constituyen principalmente de celulosa mientras que las formaciones turbosas de tierras bajas profundas



en Indonesia y Malasia se constituyen de 2/3 partes de lignina, con celulosa/hemicelulosa, contabilizando sólo del 1-10% de peso de la muestra seca (FAO, 1998).

- La materia orgánica fresca tiene una función especial, porque facilita la obtención del P del suelo en los suelos ácidos. Al descomponerse, la materia orgánica libera citratos, oxalatos, tartratos y lactatos, que se combinan con Fe y Al con más rapidez que el P. El resultado es la formación de un número menor de fosfatos insolubles de Fe y Al y la disponibilidad de más P para el desarrollo de la planta (Thomane et al., 1978).





3.1.1. Ubicación Geográfica y Político - Administrativa

El área de estudio está ubicada en la República de Ecuador, Provincia del Azuay, en las jurisdicciones de los cantones: Girón y San Fernando, en las parroquias: Girón, San Gerardo y Chumblín, en la microcuenca del Río Zhurucay, ubicándose a 85 km al Sur Oeste de la ciudad de Cuenca, con las siguientes coordenadas UTM: X 694 644 m - 698 164 m y Y 9662 482 m – 9660 680 m. Con una superficie aproximada de 13.92 km², con un rango altitudinal comprendido entre los 3400 y 3900 m s.n.m.

3.1.3. Aspectos Biofísicos

a) Clima

La microcuenca del río Zhurucay pertenece a la clasificación ecológica de páramo húmedo, con una precipitación media anual de 900 a 1600 mm, con un 10% de las lluvias que registran una intensidad superior a 10 mm h⁻¹ (Buytaert et al., 2006). La humedad relativa promedio mensual es de 90%



(Iñiguez et al., 2008). La temperatura promedio es de 7 °C a 3500 m s.n.m. (Buytaert, 2004), con un gradiente promedio de 0.5 a 0.7 °C por 100 m (Bacuilima et al., 1999; Castaño, 2002). El clima de la microcuenca está influenciado por el régimen de la costa del Pacífico desde el oeste y por las masas de aire continentales del Atlántico tropical desde el este. (Vuille et al., 2000). La velocidad del viento promedio mensual en invierno (entre Enero y Junio) es de aproximadamente 4 m s^{-1} , sin embargo en verano (entre Julio y Diciembre) hay un incremento considerable alcanzando valores de hasta 12 m s^{-1} . La radiación solar alcanza valores superiores a 1400 W m^{-2} (Iñiguez et al., 2008).

b) Geología

En la zona de estudio encontramos algunas formaciones geológicas que se detallan a continuación:

Formación Tarqui: Corresponde a una secuencia gruesa ($>1000\text{ m}$) de tobas, aglomerados, materiales piroclásticos y pocas lavas, la mayoría de composición riolítica a dacítica, la que aflora principalmente en la Provincia del Azuay (Bristow y



Hoffstetter, 1977), que se extiende desde la región de Saraguro hasta Azogues (Hall y Beate, 1991).

Formación Turi: Está presente al Norte del Sistema de fallas Girón y al Este del Cinturón Gañarín. Las principales litologías son brechas tobáceas, conglomerados, areniscas ricas en “debris” andesítico y unas pocas brechas tobáceas primarias de composición andesítica. La geometría del afloramiento es radial, con desniveles suaves hacia el Sur y el Este, desde la caldera del Quimsacocha, que demuestra una edad del Mioceno Tardío (8-9 Ma) (Steinmann, 1997).

Formación Quimsacocha: Corona la Formación Turi alrededor de la caldera de Quimsacocha, que comprende una secuencia de lavas y tobas-brechas de flujo de y composición andesítica con buzamientos suaves. Como la Formación Turi, el afloramiento es radial, hacia el exterior de la caldera. La edad es incierta pero podría ser Mioceno Tardío o más joven (Pratt et al., 1997).



c) Suelos

Los suelos más comunes en el páramo de Quimsacocha, son los Andosoles e Histosoles de acuerdo con World Reference Base for Soil Resources de la FAO (2006). Las características morfológicas y físicas de los Andosoles están determinadas principalmente por el estado de meteorización y las condiciones climáticas (Buytaert, 2004). Los Histosoles, al igual que los Andosoles, tienen una extraordinaria capacidad para retener agua y una baja densidad aparente. Son frecuentes en zonas casi constantemente saturadas en donde las condiciones (bajas temperaturas, acidez) favorecen la acumulación de materia orgánica, poseen propiedades físicas, químicas y mecánicas que difieren enormemente de suelos minerales. Pueden contener considerables cantidades de agua, poseen materia orgánica a más de 40 cm de profundidad (FAO, 2006), entre sus características más notables.



d) Biodiversidad

La vegetación dominante consisten en pajonal (*Calamagrostis intermedia*) y almohadillas (*Azorella pedunculata*) predominantemente en toda la microcuenca, parches de bosques de *Polylepis* (*Polylepis incana* y *Polylepis reticulata*) en las partes altas de la cuenca y a lo largo de las riveras de los ríos, mientras fragmentos de bosque siempre verde montano alto se encuentran en la transición entre el bosque de neblina y el páramo, entre las especies predominantes del bosque se encuentran: *Weinmannia* sps., *Hedyosmum cumbalense* H. Karst y *Miconia tinifolia* Naudin, entre otras.

Los mamíferos que se registran de acuerdo a los estudios de la Universidad del Azuay (UDA, 2008) en la zona de Quimsacocha son: el venado de cola blanca (*Odocoileus peruvianus*), el ratón campestre delicado (*Akodon mollis*) y el zorrillo (*Conepatus semistriatus*). Dentro de las especies no comunes se registran las siguientes: el lobo de páramo, la zarigüeya andina (*Didelphis pernigra*), la musaraña de orejas cortas (*Cryptotis montivaga*), el ratón andino de Thomas



(*Thomasomys baeops*), y el ratón arrocero andino (*Phyllotis andium*), y especies como la guanta andina (*Cuniculus taczanowskii*), el puma (*Puma concolor*), el venado colorado enano (*Mazama rufina*),

Los anfibios presentes en la zona prefieren los hábitats de pajonal y humedal, encontrándose casi todas las especies en los mismos, por otro lado especies como la rana marsupial (*Gastrotheca pseustes*) y el jambato (*Atelopus exiguus*), prefieren situarse en lugares cercanos al agua (UDA, 2008).

3.3. MATERIALES

Los materiales utilizados para la investigación se detallan a continuación:

3.2.1. Físicos

- Palas.
- Bolsas plásticas.
- Etiquetas.



- Anillos de Kopecky (100cc).
- Toma muestras de Kopeckys.
- Martillo de goma.
- Espátula edafológica.
- Cuchillo.
- Cierra.
- Alicate.
- Barreno.
- Palas.
- Soportes metálicos.
- Flexómetros.
- Flotadores.
- Bidones de agua.
- Extractor de agua (para Histosoles).

3.2.2. Equipos

- Flexómetro.



- Cámara fotográfica.
- Lupa.
- Clinómetro.
- GPS.
- Brújula.
- Balanza electrónica.
- Estufa.
- Calculadora.
- Computador.

3.2.3. Software

- Microsoft Excel.
- Statgraphics Centurion XVIII.
- Xlstat 2010.
- ArcGIS 9.3G

3.2.4. Guías de campo



- Determination of World Plant Formations from Simple Climatic Data (Holdridge, 1947). Cien Plantas Silvestres del Páramo, Parque Nacional Cajas, Azuay, Ecuador (Ulloa et al., 2005).
- Registros agrícolas, silvícolas y ambientales de las instituciones encargadas.
- Formularios para la descripción de suelos (Anexo 1.)
- Formulario de levantamiento de información y de conductividad hidráulica (Anexo 2.)
- Guías para la descripción de perfiles de la FAO (2006).

3.3. DETERMINACIÓN DE LOS TIPOS DE COBERTURAS Y USOS DEL SUELO PREDOMINANTES.

3.3.1. Metodología:

Para la caracterización de las principales coberturas encontradas en la microcuenca en estudio, se identificaron a través de transectos; dos transectos longitudinales siguiendo

el corte altitudinal y tres transectos transversales (Figura 2.), los mismos que también se usaron para posteriores muestreos. En cada punto de muestreo se identificó la predominancia de la cobertura, usando guías de campo como el trabajo de Holdridge. Una vez identificadas se procedió a agruparlos en los distintos tipos de coberturas.

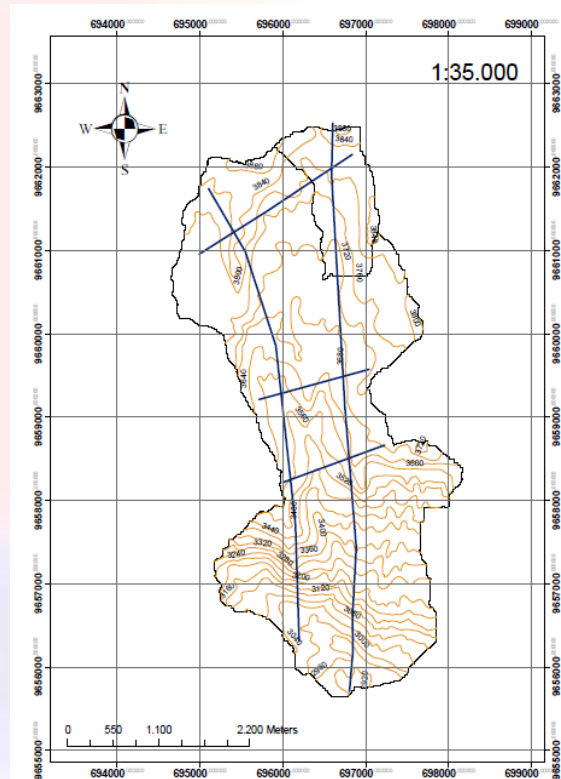


Figura 2. Transectos



Para determinar el uso de suelo se siguieron los transectos ya nombrados, donde en cada sitio de muestreo se clasificó el uso, mediante la visualización de la zona, identificando la predominancia, para una clasificación más exacta y comprobación se usaron guías como: la cartografía base de la zona y registros agrícola, silvícolas y ambientales de la zona.

3.4. CARACTERIZAR LAS PROPIEDADES FÍSICO - QUÍMICAS DE LOS PRINCIPALES SUELOS

3.4.1. Textura:

En el campo se hizo una determinación de la textura por el método de la cinta como aproximación, También se tomaron muestras inalteradas de cada horizonte, donde se aplicó la siguiente metodología, según la FAO: se procedió a retirar la cobertura vegetal del lugar destinado para extraer la muestra, luego se identificó el número de horizontes presentes en el pedón y se extrajo 1 kg de suelo por cada horizonte



encontrado, tomando en cuenta el límite de cada horizonte donde no se recoge muestra, posterior a esto se procedió a codificar las muestras y finalmente se envió al laboratorio AGROBIOLAB en Quito para la determinación de la granulometría.

3.4.2. Estructura:

La estructura se describió in situ, utilizando la lupa de 10x se identificó el grado y el tipo de la estructura de acuerdo a parámetros FAO.

3.4.3. Densidad Aparente:

Una vez determinado el sitio de muestreo, se procedió a tomar una muestra inalterada limpiando la cobertura vegetal con la pala a lo que siguió la preparación del toma muestras de anillos de Kopecky. Se introduce el toma muestras en el horizonte escogido, con ayuda del martillo. Se saca el Kopecky del toma muestras y se limpian los bordes con la ayuda de una cierra, cuchillo o espátula edafológica. Una vez



que se tomaron las muestras inalteradas en el campo, se las llevó al laboratorio de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, donde se las peso y se las introdujo en una estufa a 105°C por 24 horas. Pasadas las 24 horas, se pesaron los Kopeckys. La densidad aparente se determina haciendo el siguiente cálculo:

$$DA = \frac{m_{s+a} - m_a}{V}$$

Donde: DA: Densidad aparente del suelo.
 m_{s+a} : masa del suelo seco más el anillo
 m_a : masa de anillo.
V: volumen de anillo de Kopecky.

3.4.4. Pruebas Hidrofísicas de campo:

Conductividad Hidráulica Saturada: Es una de las principales características del suelo y sólo las medidas directas son apropiadas para su determinación (Mejía y Minchala, 2003).



Pruebas de Pozo y Pozo Invertido: Método de campo simple, utilizado para la determinación de la conductividad hidráulica saturada de un suelo. La determinación de la permeabilidad del agua de un suelo por este método toma poco tiempo a comparación de otros métodos. Si el suelo está saturado, el gradiente hidráulico puede ser supuesto igual a la unidad (www.geo-mart.com).

Como primer paso se realizó una barrenación para determinar los horizontes y profundidades del sitio de muestreo. Posteriormente se realizaron 3 barrenaciones a 20, 60 y 80 cm de profundidad; en función de los horizontes encontrados; en cada agujero se llena de agua hasta que este saturado el horizonte, instalar el flotador y la cinta métrica en el soporte metálico. Se registra la tasa de descenso del nivel del agua a lo largo del tiempo, las medidas de profundidad de fondo, la profundidad del pozo y la profundidad del horizonte en el que se realizó la prueba. La prueba finaliza cuando la tasa de descenso es constante.



En el caso de Histosoles se extrajo el agua del nivel freático, y se empezó a tomar de medidas conforme bajen o suban los flotadores dentro del suelo, en un rango de tiempo de 1, 2 o 5 minutos dependiendo de la variación de las lecturas del flexómetro.

La conductividad hidráulica saturada puede ser determinada por:

$$K_{sat}=1.15*r*s$$

Donde:

K_{sat} : Conductividad hidráulica saturada (cm.h^{-1})

r: Radio del agujero (cm)

s: Pendiente de la curva $\log(h_t + r/2)$ vs. T

h: Altura de la columna de agua dentro del pozo (cm)

Este valor de K_{sat} corresponde al valor de la conductividad saturada horizontal del suelo.

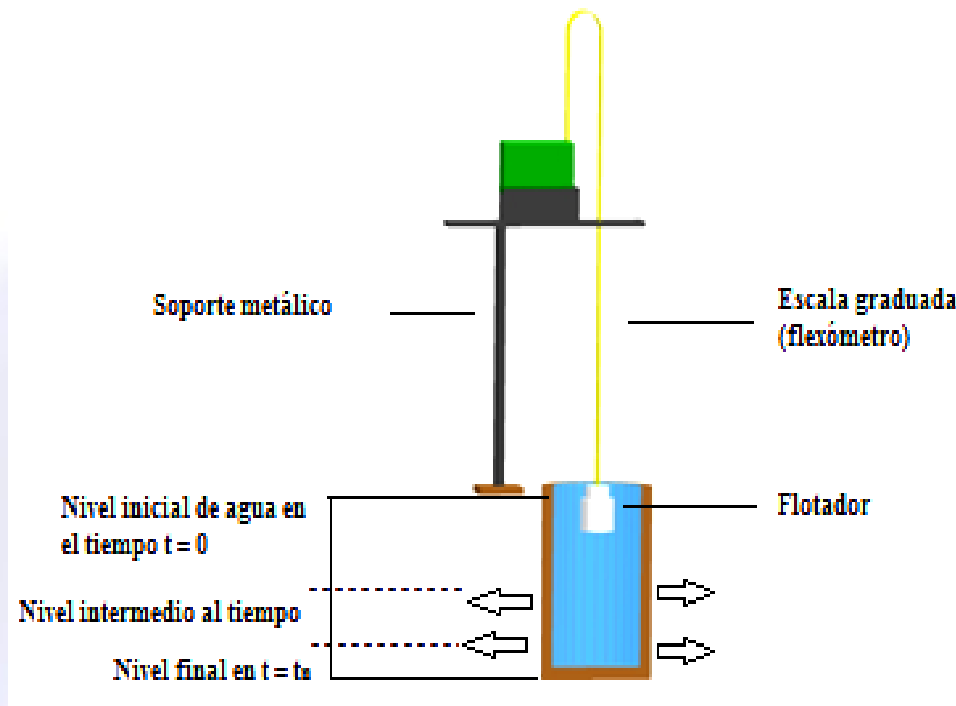


Figura 3. Prueba de pozo invertido.

3.4.5. Determinación de las propiedades de retención de agua en el suelo

Se tomaron muestras inalteradas con anillos de Kopecky de 100cc en cada horizonte escogido, los mismos que fueron



enviados al Laboratorio para realizar las pruebas de: Humedad de Saturación (HS), Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez (PM), los mismos que fueron determinados con los siguientes equipos:

- Humedad de Saturación: Saturación de Kopeckys en bandejas.
- Capacidad de Campo: Método de flujo por etapas múltiples (Multistep).
- Punto de Marchitez: Aparato de Membranas.

Humedad de Saturación (HS): Corresponde a un valor de tensión de $pF=0$, equivale al contenido de agua del suelo en la condición de saturación, lo cual significa que este valor es prácticamente similar a la porosidad total.

Capacidad de Campo (CC): La cantidad de agua que un suelo retiene contra la gravedad cuando se le deja drenar libremente. Según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) corresponde al contenido de agua



que el suelo retiene a una succión de $1/3$ de atmósferas (333,3 cm de columna de agua o pF 2,52).

Punto de Marchitez (PM): El contenido de agua del suelo cuando las plantas se marchitan permanentemente; es decir, que no se recobran en una atmósfera saturada, sin adición de agua al suelo, el cual corresponde a una succión de 15 bares (pF 4,2).

3.4.6. Análisis químicos:

En el campo se tomaron muestras alteradas, detalladas anteriormente, las mismas que se enviaron al laboratorio AGROBIOLAB en Quito, con la finalidad de determinar los siguientes parámetros:

1. pH. (Método pH 1:2,5 H₂O)
2. Conductividad Eléctrica (CE) Na, (Método de pasta saturada).



3. Materia Orgánica (MO) (Método Walkley and Black).
4. Nitratos (Método del ácido sulfónico).
5. Nitrógeno Amoniacal (Extracción con Bicarbonato de sodio, fenol básico y cloretol).
6. Acidez Intercambiable (Al+H). (Método Olsen Modificado)
7. B (Método Fosfato Monocálcico), NH_4 , NO_3 y SO_4 (Colorímetro).
8. P (Método de Bray y Kurtz P- 1)
9. K (Procedimiento de potasio intercambiable NCR – 13).
10. Ca, Mg, Na, Cu, Fe, Mn, Zn (Método Olsen Modificado).



3.5. DETERMINACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA ALTITUD EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - QUÍMICAS DE LOS PRINCIPALES SUELOS.

3.5.1. Metodología:

Una vez obtenida la información de los objetivos 1 y 2 se realizó una prueba de normalidad de los datos usando el test de Shapiro – Wilk solamente con las observaciones que se encuentran bajo coberturas naturales. Sin embargo, debido a que no se encontró normalidad en los datos se seleccionó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, con la cual se encontraron diferencias significativas entre Epipedones y Endopedones. Posteriormente se utilizó un Análisis de correlación de Spearman con la finalidad de explorar las relaciones existentes entre las diferentes variables (propiedades de los suelos de Epipedones y Endopedones) y la altitud. Finalmente se utilizó un Análisis de Clusters para explorar posibles relaciones por grupos de muestras. Los Análisis descritos se realizaron con la ayuda del software



STATGRAPHICS Centurion XVIII y utilizando las variables listadas a continuación:

1. Altura
2. Tipo de horizonte.
3. Conductividad hidráulica.
4. Densidad aparente.
5. pH.
6. Conductividad Eléctrica (C.E).
7. Materia Orgánica (M.O).
8. Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C.)
9. Saturación de Bases (S.B).
10. Nitrógeno Total (NT).
11. Acidez Intercambiable (Al+H).
12. Nitrógeno amoniacal (NH₄).
13. Boro (B)
14. Fósforo (P).
15. Potasio (K).
16. Calcio (Ca).
17. Magnesio (Mg).
18. Sodio (Na).



19. Cobre (Cu).
20. Hierro (Fe).
21. Manganeso (Mn).
22. Zinc (Zn).

3.6. ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA COBERTURA VEGETAL Y CAMBIOS DEL USO DEL SUELO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS PRINCIPALES SUELOS.

3.6.1. Metodología:

Una vez obtenida la información de los objetivos 1 y 2 se realizaron los análisis estadísticos, en donde se consideró la separación de las observaciones por Epipedones y Endopedones como se explicó anteriormente. Los análisis utilizados son de tipo exploratorio como: el Análisis Discriminante (AD) (Fisher, 1936), que nos permite identificar las características que diferencian a los grupos y distinguir con mayor precisión a los miembros de uno u otro grupo, y el Análisis de Componentes Principales (ACP) (Hotelling, 1933)



que busca mediante combinaciones lineales de las variables originales conseguir un nuevo grupo de variables (las primeras) que recojan la mayor parte de la variabilidad de los datos. Finalmente se usó gráficos de barras para una mejor explicación de los resultados. Los análisis estadísticos se realizaron con la ayuda de los softwares como Xlstat 2011, Statgraphics Centurion XVII y Microsoft Office Excel 2007 y utilizando las variables detalladas a continuación:

- 1.** Cobertura vegetal
- 2.** Uso del suelo
- 3.** Tipo de horizonte.
- 4.** Conductividad hidráulica.
- 5.** Densidad aparente.
- 6.** pH.
- 7.** Conductividad Eléctrica (C.E.).
- 8.** Materia Orgánica (M.O.).
- 9.** Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C.)
- 10.** Saturación de Bases (S.B.).
- 11.** Nitrógeno Total, Carbono.
- 12.** Acidez Intercambiable (Al+H).



- 13.** Boro (B)
- 14.** Fósforo (P).
- 15.** Potasio (K).
- 16.** Calcio (Ca).
- 17.** Magnesio (Mg).
- 18.** Sodio (Na).
- 19.** Cobre (Cu).
- 20.** Hierro (Fe).
- 21.** Manganeso (Mn).
- 22.** Zinc (Zn).



4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. TIPOS DE COBERTURAS Y USOS DEL SUELO PREDOMINANTES

Las plantas de los páramos tienen una morfología característica: rosetas gigantes y enanas, penachos de gramíneas, almohadillas, alfombras, arbustos enanos y postrados, son algunas formas de crecimiento de las plantas en esta zona (Hedberg y Hedberg, 1979; Mena y Balslev, 1986; Ramsay y Oxley 1997). Las principales amenazas para estas especies son aquellas producidas por el ser humano con las quemas, el avance de la frontera agrícola, las plantaciones forestales con especies introducidas, la ganadería y el sobrepastoreo; pero también eventos naturales catastróficos, como las erupciones volcánicas, amenazan a algunas poblaciones de estas plantas únicas de los páramos del Ecuador (Mena y Medina, 2000).

En la microcuenca del río Zhurucay, se han analizado 36 pedones, los mismos que se encuentran distribuidos a lo largo de dos transectos longitudinales y tres transversales, en



donde se han identificado los tipos de coberturas predominantes de la microcuenca, que son: almohadilla (Al), bosque montano alto (BMa), bosque *polylepis* (Bp), bosque de pino (BPi), cultivo de papas (Cp), pajonal (P), pasto (Pa) y pajonal quemado (Pq).

En la microcuenca en estudio se pudo constatar una alta influencia humana, la misma que se pone en evidencia a lo largo de los transectos en análisis, reflejado en actividades agrícolas tales como el cultivo de papas, pasto y quemas; y actividades forestales como las plantaciones de pino.

4.1.1. Pajonal

Se encuentra a una altura entre 3510 – 3910 m s.n.m., siendo la especie *Calamagrostis intermedia* la predominante en el sitio de estudio, con una altura aproximada de 56 a 86 cm. También se encontraron otras especies de pajonal pero en menor número como: *Orthrosanthus chimboracensis*, *Jamesania goudotti*, *Gentianella hirculus*, *Puya clava* - *Herculis*, entre otras.



Figura 4. *Calamagrostis intermedia*

Figura

5. *Puya clava - herculis*

4.1.2. Bosque *Polylepis*

Conocido comúnmente como quinua o árbol de papel, se encuentran en pequeños manchones a lo largo de la microcuenca del Zhurucay, localizado entre alturas de 3667 – 3775 m s.n.m. Éstos bosques representan uno de los ecosistemas más amenazados del mundo, pero al mismo tiempo cumplen un papel importante en la ecología altoandina, como hábitat de muchas especies de plantas y animales y como una fuente importante de recursos para los

habitantes de la zona (Kessler, 2006). La especie encontrada en la microcuenca es *Polylepis incana*, que posee un altura aproximada de 10 a 12 m y un diámetro de tronco aproximado de 0.41 cm, una de las características principales del tronco es su forma retorcida y con ramificaciones. La densidad del bosque nativo de *Polylepis* oscila entre 12 a 15 árboles por 10 m². Entre el bosque de *Polylepis* localizamos a una especie dominante como son los helecho o *Pteridophytas*, que se ubican en las bases de los árboles de quinua, y en los troncos encontramos gran cantidad de musgos.





Figura 6. *Polylepis incana*
Hypolepis poeppigii

Figura 7.

4.1.3. Almohadilla

Se encuentran en terrenos poco drenados formando alfombras de estructura muy rígida, las especies que se identificaron en la zona son: *Azorella pedunculata* y *Plantago rigida Kunth*, siendo un conjunto de plantas que están dispuestas en forma apretada formando almohadillas muy compactas. Las almohadillas generan un microclima menos frío en su interior, donde se protegen los órganos jóvenes de la planta (Mena, 2001).

La especie *Azorella pedunculata* cuenta con las hojas amontonadas, miden 1 cm de largo, son muy duras, mientras que *Plantago rigida Kunth*, las hojas se encuentra en forma de roseta y miden 1 a 2 cm.



Figura 8. *Azorella pedunculata*

4.1.4. Bosque montano alto

Se encuentra rodeado de páramo herbáceo y pastos para ganadería, sobre terrenos rocosos con pendientes fuertes de hasta el 65.7%, haciéndolos vulnerables a una erosión extremadamente acelerada en condiciones de intensas lluvias (Bussmann, 2005). Los bosques se caracterizan por la presencia de árboles que alcanza alturas alrededor de 15 m. Las especies más comunes son: *Miconia salicifolia*, *Myrsine dependens*, *Weinmannia fagaroides*, *Oreocallis grandiflor*,

Gynoxys miniphylla, *Hesperomeles ferruginea*, *Hypericum laricifolium* Juss.



Figura 9. *Gynoxys miniphylla*
Weinmannia fagaroides

Figura 10.



4.1.5. Bosque de Pino

La especie predominante de pino es *Pinus patula*, a lo largo de la microcuenca existen varios manchones de bosque, donde se han identificado parcelas en las que se ha realizado podas y otras en las cuales no se ha realizado ningún mantenimiento, la población de pino de la microcuenca en general tiene una edad aproximada de 12 años, la densidad de plantación es de 3 x 3 m con alturas que oscilan entre 2 y 3.5 m.

Las plantaciones de pino son consideradas como una forma eficaz de mejorar la viabilidad económica de la gente que vive en el páramo, los bosques de pino se utilizan para la producción de madera y captura de carbono (Farley et al., 2004).



11. *Pinus patula*

4.1.6. Cultivo de papas

Este cultivo se encuentra en la zona media baja de la microcuenca, las principales variedades que siembran en la microcuenca son: chaucha, bolona y súper chola. La forma de siembra se la hace en surcos, a una distancia de 50 cm entre surco y 20 cm entre planta.

Las actividades agrícolas en los páramos son la base de subsistencia de los habitantes de la zona, es una actividad

que se ha extendido en los últimos años, sin embargo los rendimientos en general son bajos, debido a las condiciones climáticas como heladas, fuertes vientos y la intensa radiación solar, y también por la poca disponibilidad de nutrientes (Podwojewski, 1999).





Figura 12. Cultivo de papas

4.1.7. Pajonal quemado

La quema de pajonal se registra a lo largo de la microcuenca, esta práctica se realiza para proporcionar brotes frescos y apetecibles para los herbívoros, debido a que en su estado natural es poco palatable, es por ello que se procede a quemar, y aproximadamente después de 15 días, el pajonal rebrota. La población de la zona realiza esta práctica durante todo el año, rotando al ganado (Hofstede, 1998).

Según Hofstede, (1998) cuando se quema el pajonal, el fuego no alcanza a toda la vegetación. Después de la quema todo el material muerto desaparece por un proceso de descomposición rápido. Los nutrientes liberados por la quema son rápidamente absorbidos por el suelo y por lo tanto no pueden ser aprovechados por la vegetación nueva; es decir que la vegetación que rebrota no crece más rápido que la vegetación original.



Figura 13. Pajonal quemado

4.1.8. Pasto

Las especies más comunes son *Lolium multiflorum* (Raygrass), *Holcus lanatus* (Holco), *Poa annua* (Pasto azul), *Trifolium pratense* (Trébol blanco), las mismas que son sembradas en las zonas bajas de la microcuenca, en



propiedades privadas. Aproximadamente cada tres meses después de cada corte se realiza un mejoramiento de los potreros (resiembra de pastos), junto con la aplicación de abono (gallinaza). De acuerdo a Molinillo y Monasterio, (2002) las estrategias de pastoreo usaron las altas tierras de páramo a partir de asentamientos situados en el piso agrícola. Por lo general, el ganado se lo deja en sitios de pastoreo sin control alguno. Esta práctica se ha mantenido hasta la actualidad. Las distancias, en tiempo, a las zonas de pastoreo varían desde pocas horas hasta más de un día, dependiendo de la accesibilidad y la tenencia de la tierra en los lugares de pastoreo. Estas circunstancias hacen que los animales sean controlados solo una o dos veces por mes (Mena, 2001). La siembra de pastos en zonas de páramo desempeñan un papel importante en la económica campesina, a pesar de las limitaciones ambientales para el pastoreo de vacunos (Molinillo y Monasterio, 1997).



Figura 14. Pastos (*Trifolium pratense* y *Holcus lanatus*)

4.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO – QUÍMICAS DE LOS SUELOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO ZHURUCAY.

Para caracterizar las propiedades físicas y químicas de los suelos, se consideraron los sitios con cobertura vegetal natural que no han sido alteradas por alguna práctica antropogénica como son: pajonal, bosque montano alto, bosque de *polylepis* y almohadilla; con el objetivo de analizar



las propiedades físicas y químicas de los suelos bajo condiciones prístinas, para en un posterior análisis comparar éstos sitios con las que han sido de alguna manera alterados. Entre los últimos se encuentran el bosque de pino, cultivo de papas, pajonal quemado y pasto.

En los pedones estudiados se identificaron 3 grupos importantes de suelos: Andosoles, Histosoles y Cambisoles, en un número de 25, 8 y 3 sitios de estudio respectivamente, y en base a ellos se presentan los siguientes resultados dentro de esta caracterización.

Propiedades físicas

La Tabla 1 muestra un resumen de las principales propiedades físicas de cada grupo de suelos en los Epipedones (horizontes superficiales) y Endopedones (horizontes subsuperficiales) encontrados bajo una determinada cobertura vegetal.



El primer grupo de suelos que encontramos son los Andosoles, los mismos que se encuentran generalmente bajo pajonal, en donde se comparó las diferencias de las características de los mismos, dividiéndolos en epipedones (Ah y h) y endopedones (B, BC, AC y C). Donde se observa que en general el endopedón posee una mayor D.A. promedio de $0,66 \text{ g cm}^{-3}$ y una menor cantidad de M.O. promedio con un valor de 16,46%, un descenso promedio de la K_{sat} , HS, CC y PM con valores de 0.92 cm h^{-1} , $0.73 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, $0.68 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ y $0.33 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ respectivamente, esto en comparación con el epipedón. Las diferencias notables entre cada horizonte se atribuye principalmente a la acumulación de materia orgánica, siendo la que condiciona las características de las distintas propiedades físicas. También podemos observar que la profundidad de los epipedones (30 - 61 cm) es mayor a la registrada por los endopedones (10 - 67 cm).

El siguiente grupo de suelos analizado son los Histosoles, los cuales están confinados bajo las coberturas de almohadillas y bosque de *polylepis*. De igual manera haciendo referencia a



la Tabla 1., de un análisis descriptivo – comparativo entre los epipedones (H y A) y endopedones (Ab y C) de los suelos bajo bosque de *polylepis*, se puede notar que en los endopedones existe una mayor D.A. (0.44 g cm^{-3}), una menor cantidad de la M.O. (20.60 %) y un descenso de la K_{sat} (0.78 cm h^{-1}), en cuanto a los contenidos de humedad del suelo la HS, CC y PM, son similares $0.79 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, $0.77 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ y $0.37 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ con respecto al epipedón.

La siguiente cobertura que encontramos sobre Histosoles son las almohadillas, donde solamente se identificaron epipedones (H y AH), registrándose un contenido promedio de M.O. de 48.38 %, D.A. de 0.11 g cm^{-3} , K_{sat} de 0.50 cm h^{-1} , HS de $0.87 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, CC de $0.86 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ y PM de $0.15 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, lo que podemos observar es que los Histosoles en sus puntos húmedos (HS y CC), retienen más agua que los Andosoles en promedio, pero para el PM, el contenido de agua es menor comparado con los Andosoles, lo que nos sugiere que los Andosoles tienen mayor microporosidad (Borja et al., 2008).



El último grupo de suelo que encontramos son los Cambisoles, los mismos que se encuentran generalmente bajo bosque montano alto y pajonal dentro de la zona de estudio. Para la cobertura de bosque montano alto se identificó un epipedón (Ah) con un contenido de M.O. de 19.1%, D.A. 0.62 g cm^{-3} , $K_{\text{sat}} 10.84 \text{ cm h}^{-1}$, HS $0.65 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, CC $0.63 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ y PM $0.41 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. En cuanto al endopedón (C) se registra una menor cantidad de M.O. (1.61%), un descenso de la $K_{\text{sat}} (2.11 \text{ cm h}^{-1})$, HS ($0.66 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), CC ($0.60 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), PM ($0.25 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) y una mayor D.A. con valores promedio de 0.77 g cm^{-3} , lo anterior es una comparación con respecto al epipedón.

Para Cambisoles bajo pajonal se identificó un epipedón (Ah) con contenidos promedio de M.O. de 22.67%, D.A. (0.68 g cm^{-3}), $K_{\text{sat}} (2.45 \text{ cm h}^{-1})$, HS ($0.80 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), CC ($0.75 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) y PM con valores de $0.36 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. También se encontró un endopedón (C) que registra un menor contenido de M.O. 2.03%, un descenso de la $K_{\text{sat}} 0.50 \text{ cm h}^{-1}$, HS $0.73 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, CC $0.60 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ y PM $0.31 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, y una mayor D.A. 1.13 g cm^{-3} a comparación con el epipedón.



Universidad de Cuenca
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Escuela de Ingeniería Agronómica



Tabla 1. Propiedades físicas de los Epipedones y Endopedones

						pF = 0	pF = 2.54	pF = 4.2	
Tipos de suelo		Cobertura	Prof. (cm)	M.O (%)	D.A. (g cm ⁻³)	Ksat (cm h ⁻¹)	(cm ³ cm ⁻³)	(cm ³ cm ⁻³)	
EPIPEDONES	Andosol		46.07	29.92	0.41	1.4	0.80	0.77	0.43
		Pajonal	(30 - 60)	(12.82 - 44.15)	(0.27 - 0.56)	(0.53 - 2.71)	(0.67 - 0.92)	(0.66 - 0.88)	(0.33 - 0.53)
		Pajonal quemado	35	39.42	0.41	1.22	0.74	0.72	0.48
			(30 - 40)	(33.39 - 46.20)	(0.38 - 0.43)	(1.11 - 1.32)	(0.71 - 0.77)	(0.71 - 0.73)	(0.42 - 0.52)
		Cultivo papas	43	26.68	0.44	1.34	0.80	0.76	0.37
			(36 - 50)	(23.26 - 30.09)	(0.37 - 0.50)	(0.64 - 2.04)	(0.79 - 0.82)	(0.75 - 0.77)	(0.19 - 0.54)
		Bosque de pino	46.5	33.93	0.51	3.73	0.74	0.70	0.46
			(40 - 60)	(13.33 - 48.04)	(0.37 - 0.78)	(1.94 - 7.44)	(0.65 - 0.80)	(0.63 - 0.74)	(0.39 - 0.52)
		Pasto	42	27.3	0.67	2.4	0.74	0.66	0.39
			(26 - 60)	(13.81 - 35.68)	(0.43 - 0.84)	(1.08 - 4.08)	(0.65 - 0.82)	(0.57 - 0.78)	(0.37 - 0.41)



Histosol		33.25	48.38	0.11	0.50	0.81	0.86	0.15
	Almohadilla	(20 - 50)	(36.12 - 61.63)	(0.06 - 0.15)	(0.12 - 0.79)	(0.81 - 0.96)	(0.80 - 0.96)	(0.08 - 0.19)
	Bosque polylepis	37.33	29.38	0.43	2.06	0.79	0.77	0.38
		(25 - 47)	(18.33 - 48.80)	(0.33 - 0.61)	(0.67 - 4.55)	(0.76 - 0.81)	(0.73 - 0.79)	(0.34 - 0.42)
Cambisol	Pasto	40	47.07	0.10	1.38	0.83	0.82	0.10
	Pajonal	30	22.67	0.68	2.45	0.80	0.75	0.36
	Bosque Montano	30	19.1	0.62	10.84	0.65	0.63	0.41
	Pasto	30	27.72	0.56	7.47	0.77	0.69	0.3

Tabla 1. Propiedades físicas de los Epipedones y Endopedones (continuación).

Tipos de	Cobertura	Prof.	M.O.	D.A.	K_{sat}	pF=0	pF=2.5	pF=4.
suelo							4	2



		(cm)	(%)	(g cm ⁻³)	(cm h ⁻¹)	(cm ³ cm ⁻³)	(cm ³ cm ⁻³)	(cm ³ cm ⁻³)	
ENDOPEONES	Andosol	Pajonal	28.88	16.46	0.66	0.92	0.73	0.68	0.33
			(10-67)	(0.43-56.16)	(0.09-1.12)	(0.11-4.10)	(0.57-0.88)	(0.57-0.88)	(0.21-0.53)
		Pajonal	22.5	13.99	0.43	0.60	0.74	0.73	0.28
			(20 - 25)	(2.56 - 25.41)	(0.42 - 0.44)	(0.54 - 0.66)	(0.73 - 0.75)	(0.73 - 0.75)	(0.13 - 0.43)
		quemado							
		Cultivo	37	4.95	0.85	1.32	0.66	0.61	0.35
			(34-40)	(3.68-6.22)	(0.84-0.86)	(0.93-1.70)	(0.63-0.69)	(0.59-0.63)	(0.34-0.37)
	Papas	40	1.67	0.8	0.6	0.74	0.70	0.34	
	Histosol	Almohadilla							
			30	54.99	0,17	0.21	0.82	0.81	0.19
Bosque		35	20.6	0.44	0.78	0.79	0.78	0.37	
		(20-45)	(7.46-43.71)	(0.18-0.86)	(0.11-1.36)	(0.72-0.87)	(0.70-0.84)	(0.18-0.50)	
	<i>polylepis</i>								
Papas	20	56.16	0.09	0.37	0.87	0.86	0.07		



Cambiso I	Pajonal	67	2.03	1.13	0.50	0.73	0.60	0.31
	Bosque montano	30	1.61	0.77	2.11	0.66	0.60	0.25

Prof.= profundidad; **M.O.=** materia orgánica; **D.A.=** densidad aparente; **K_{sat}=** conductividad hidráulica saturada; **pF=** potencial matricial del suelo expresado como el \log_{10} (cm de columna de agua) en saturación (pF=0 ó 0kPa), capacidad de campo (pF=2.54 ó -33kPa) y punto de marchitez (pF=4.2 ó -1500kPa). Valores entre paréntesis corresponden a valores mínimos y máximos de cada propiedad analizada de ser posible.



Propiedades químicas

En la Tabla 2., muestra un resumen de las principales propiedades químicas de los suelos, al igual que en la descripción de las propiedades físicas se analizará únicamente los suelos bajo cobertura natural o no antropizadas (pajonal, bosque montano alto, bosque de *polylepis* y almohadilla).

Para el Andosol en pajonal observamos que los epipedones (Ah y A) tienen un pH de 4.7, siendo ligeramente más ácido al registrado en el endopedón (AC, B, BC y C), en el caso de saturación de bases se registra una mayor concentración en el endopedón, que puede estar relacionado con la lixiviación de las bases del horizonte superior al inferior. En cuanto a los restantes elementos analizados, se observa una menor concentración de sus contenidos en el epipedón.

El siguiente grupo de suelo son los Histosoles, donde se encontraron dos tipos de coberturas: bosque de *polylepis* y almohadilla. Para el Histosol en bosque de *polylepis* observamos que el epipedón (H y A) tiene un pH de 4.7, siendo ligeramente más ácido que el pH registrado en el



endopedón (Ab y C) que se encuentra en 4.8 el pH más ácido que el epipedón se debe a la mayor cantidad de materia orgánica que encontramos y a su descomposición. Para elementos como C.E., S.B., N.T., NH_4 , NO_3 , Fe y Na sus contenidos son mayores en el epipedón, en cuanto a los restantes elementos, C.I.C., Al+H, Cu, P, K, Ca, Mg, Zn y Mn sus contenidos son mayores en el endopedón, lo que nos indicaría en el caso de Al+H hubo una lixiviación de los elementos del horizonte superior, debido a que el Histosol tiene un mayor proceso de evolución, confiriéndole al suelo una pérdida de sus propiedades ándicas (Borja et al., 2008).

El siguiente tipo de cobertura que se encontró en los Histosoles fue la almohadilla donde se registró horizontes superficiales (H y AH) con un pH de 4.78 siendo ligeramente superior al registrado por el horizonte subsuperficial (AH) (4.4), también se puede observar que solo el contenido de Al+H y Cu es superior en el endopedón, mientras que los restantes elementos se encuentran en mayor cantidad en el epipedón.



Finalmente tenemos a los Cambisoles donde encontramos dos tipos de coberturas: bosque montano alto y pajonal. El epipedón (Ah) bajo el bosque montano alto tiene un pH de 5.3, siendo menos ácido que el pH registrado en el endopedón C (4.7), lo que nos sugiere que este suelo alguna vez tuvo propiedades ándicas más acentuadas pero con el proceso de evolución y la altura en la que se encuentra, dichas propiedades gracias a la lixiviación fueron al horizonte subyacente, entre los elementos que observamos tenemos al Al+H y al Fe. Para el Ca también se observó un contenido superior en el endopedón, en cuanto a los restantes elementos se observó que se encuentran en mayor contenido en el epipedón.

El siguiente tipo de cobertura registrado en los Cambisoles es el pajonal, en donde su epipedón (Ah) posee un pH de 7.8, siendo mayor al registrado en el endopedón C (5.1), lo que nos indica una liberación de protones del epipedón. La S.B y C.I.C es mayor para el endopedón al igual que el K, Cu y Mn, para los restantes elementos hay una disminución de su contenido.



Universidad de Cuenca
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Escuela de Ingeniería Agronómica



Tabla 2. Propiedades químicas del Epipedón

	Andosol					Histosol			Ca
	Cultivo Bosque					Bosque Pasto			Pajonal m
	Pajonal	Pajonal quemado	de papas	de Pino	Pasto	Almohadilla	<i>polylepis</i>		
pH	4.7 (4.3 - 4.8)	4.85 (4.5 - 5)	4.3 (4 - 4.6)	4.73 (4.5 - 5.1)	4.57 (4.3 - 4.9)	4.78 (4.4 - 5.5)	4.7 (4.3 - 5.1)	4.90	7.8
C.E. (mmhos cm⁻¹)	0.18 (0.04 - 0.3)	0.22 (0.08 - 0.3)	0.49 (0.3 - 0.68)	0.12 (0.06 - 0.25)	0.27 (0.14 - 0.49)	0.73 (0.55-1.11)	0.30 (0.25 - 0.34)	0.44	0.09
S.B. (%)	36.24 (17.67 - 66.24)	24.89 (20.64 - 29.88)	24.75 (23.49 - 26.2)	18.58 (10.16 - 28.06)	30.42 (11.3 - 46.93)	57.68 (47 - 76.35)	69.97 (44.96 - 91.59)	74.15	45.55
CIC (meq100g⁻¹)	41.35 (10.4 - 76)	49.33 (32 - 84)	48 (26 - 70)	49.50 (30 - 90)	62.00 (46 - 82)	14.1 (8.4 - 24)	33.06 (13.2 - 48)	18.00	8.80
NT (%)	1.11 (0.54 - 1.64)	1.29 (0.72 - 1.68)	0.89 (0.75 - 1.04)	0.95 (0.45 - 1.6)	1.06 (0.57 - 1.47)	2.43 (1.22 - 3.1)	1.06 (0.95 - 2.12)	2.57	0.58
NH4	126.42	130.53	107.7	104.33	146.00	225.08	123.53	148.60	127.80



(ppm)	(90.7 - 208.7)	(95.7 - 169)	(58.3 - 157.1)	(12.1 - 1772)	(97.9 - 206.7)	(162.6 - 300.8)	(109.2 - 144.6)		
NO3	3.18	9.67	66.05	11.83	8.90	38.18	12.63		
(ppm)	(0.10 - 7.5)	(2.10 - 21.4)	(24.8 - 107.3)	(0.2 - 26.8)	(1 - 17.5)	(1 - 142.7)	(4.1 - 28.3)	2.80	0.20
P	8.18	10.07	10.65	7.55	10.80	20.88	23		
(ppm)	(3.60 - 13.5)	(1.21 - 17)	(3.3 - 18)	(5.7 - 10.5)	(2 - 18.6)	(4- 35)	(10.4 - 76)	9.00	10.20
K	0.21	0.20	0.14	0.11	0.25	0.52	0.19		
(meq100ml ⁻¹)	(0.06 - 0.4)	(0.10 - 0.3)	(0.08 - 0.2)	(0.06 - 0.19)	(0.19 - 0.37)	(0.4 - 0.68)	(0.07 - 0.37)	0.31	0.07

Tabla 2. Propiedades químicas del Epipedón (continuación)

Andosol					Histosol			
Pajonal	Pajonal	Cultivo	Bosque	Pasto	Almohadilla	Bosque	Pasto	Pajona



		quemado	de papas	de Pino		<i>polylepis</i>			
Ca	1.39	1.58	1.54	0.91	3.56	2.06	5.91		
(meq100ml⁻¹)	(0.79 - 3.22)	(2.26 - 1.02)	(1 - 2.08)	(0.76 - 1.09)	(1.76 - 6.19)	(1.13 - 3.21)	(3.75 - 7.53)	3.09	2.02
Mg	0.45	0.47	0.41	0.34	0.87	0.57	0.75		
(meq100ml⁻¹)	(0.28 - 0.7)	(0.36 - 0.64)	(0.32 - 0.51)	(0.26 - 0.45)	(0.66 - 1.07)	(0.53 - 0.68)	(0.55 - 1.55)	0.46	0.38
Na	0.05	0.03	0.055	0.03	0.05	0.18	0.07		
(meq100ml⁻¹)	(0.03 - 0.07)	(0.02 - 0.04)	(0.05 - 0.06)	(0.03 - 0.04)	(0.03 - 0.09)	(0.08 - 0.39)	(0.06 - 0.09)	0.07	0.04
Al + H	5.52	7.06	6.7	7.29	12.20	2.36	2.94		
(meq100ml⁻¹)	(2.13 - 10.56)	(4.6 - 10.12)	(4.15 - 9.25)	(3.41 - 10.7)	(0.45 - 19.67)	(1.45 - 3.05)	(0.82 - 5.46)	1.37	3.00
Cu	1.71	1.17	1.85	2.20	3.50	1.0	1.40		
(ppm)	(0.38 - 4.7)	(0.28 - 1.9)	(0.8 - 2.9)	(1.1 - 3.8)	(1.4 - 6.8)	(0.4 - 1.7)	(0.52 - 2.1)	1.40	0.4
Fe	307.15	702.67	509.2	690.65	1102	3066.88	779.80		
(ppm)	(31.2 - 1520)	(276.5 - 15532.5)	(50.9 - 967.5)	(63.1 - 1277)	(631.5 - 1572.5)	(562 - 7600)	(39.9 - 1332)	376.50	1187.5



Mn	12.48	5.27	6.6	40.5	15.43	858.1	25.76		
	(1.2 -	(1.5 -	(2.3 -	(1.9 -	(2.4 -		(2.6 -	21.90	1.80
(ppm)	52.8)	11.24)	10.9)	170)	34.4)	(2.1 - 3420)	69.8)		
Zn	7.06	5.3	4.35	3.83	17.13	26.15	6.7		
	(3.3 -		(2.9 -	(2.7 -	(4 -			5.00	7.40
(ppm)	24.2)	(3.2 - 7.8)	5.8)	4.6)	38.5)	(6.6 - 84)	(5.9 - 7.9)		



Tabla 3. Propiedades químicas del Endopedón.

	Andosol				Histosol		
	Pajonal	Pajonal quemado	Cultivo de papas	Pasto	Bosque <i>polylepis</i>	Almohadilla	Pas
pH	4.8 (4 - 5.2)	5.25 (5 - 5.5)	5.35 (4.5 - 6.2)	4.9	4.8 (4 - 5.3)	4.4	5.
C.E. (mmhos cm⁻¹)	0.13 (0.02 - 0.23)	0.05	0.11 (0.02 - 0.19)	0.09	0.23 (0.07 - 0.54)	0.27	0.2
S.B.	45.26	13.25	38.83 (26.87	20.91	69.24	31.30	84.
(%)	(7.66 - 78.94)	(11.36 - 15.15)	- 50.78)		(56.08 - 90.8)		
CIC (meq100g⁻¹)	37.15 (11.60 - 72.00)	57 (46 - 68)	27 (18 - 36)	28	46.77 (44 - 48)	22.00	24.
NT	0.66 (0.06 - 1.20)	0.41 (0.10 - 0.72)	0.26 (0.2 - 0.32)	0.1	0.88 (0.25 - 2.12)	2.24	2.4
NH4 (ppm)	59.60 (2.7 - 193.50)	27.5 (5.5 - 49.50)	24.35 (14.2 - 34.5)	50.5	85.43 (65.9 - 117.4)	117.40	198
NO3 (ppm)	3.66 (0.1 - 14.4)	3.8 (3.6 - 4.10)	15.95 (1 - 30.9)	5.1	4.4 (2 - 6.1)	2.10	2.8
P	12.03 (0.1 - 10.50)	2.9 (2.7 - 3.2)	2.9 (2.7 - 3.2)	36.8	40.13 (20.9 - 76)	8.30	8.9
K	0.16	0.13	0.13	0.19	0.20	0.15	0.1



(meq100ml⁻¹)	(0.03 - 0.25)	(0.08 - 0.18)	(0.08 - 0.18)		(0.11 - 0.37)		
Ca	2.95	1.17	1.17		7.66		
(meq100ml⁻¹)	(0.78 - 1.11)	(0.97 - 1.37)	(0.97 - 1.37)	2.29	(5.08 - 12.71)	0.97	5.2
Mg	0.52	0.37	0.37		0.94		
(meq100ml⁻¹)	(0.3 - 0.41)	(0.29 - 0.46)	(0.29 - 0.46)	0.55	(0.63 - 1.55)	0.30	0.6
Na	0.04	0.04	0.04		0.05		
(meq100ml⁻¹)	(0.02 - 0.05)	(0.03 - 0.04)	(0.03 - 0.04)	0.04	(0.03 - 0.08)	0.07	0.0
Al + H	6.4	11.83	11.83		3.3		
(meq100ml⁻¹)	(0.64 - 19.53)	(7.67 - 15.99)	(7.67 - 15.99)	11.61	(1.49 - 4.59)	3.27	1.1
Cu	2.57	0.89	0.89		2.57		
(ppm)	(0.28 - 3.4)	(0.28 - 1.5)	(0.28 - 1.5)	14.3	(2.5 - 2.7)	1.70	1.1
Fe	344.09	93.05	93.5		657.63		
(ppm)	(19.9 - 635.0)	(73.6 - 112.5)	(73.6 - 112.5)	535	(110.4 - 955)	834.00	878
Mn	8.9	5.4	5.4		30.9		
(ppm)	(1.1 - 5.4)	(1.5 - 9.2)	(1.5 - 9.2)	32	(3.9 - 48.6)	2.10	31.
Zn	6.74	4.10	4.10		6.92		
(ppm)	(1.02 - 12.3)	(3 - 5.20)	(3 - 5.20)	25.5	(4.5 - 11.20)	2.50	12.



4.2.3. Efectos de la altitud en las propiedades físico-químicas de los principales suelos.

Se aplicó una prueba no paramétrica (Kruskal-Wallis), para encontrar diferencias entre epipedones y endopedones, para éste análisis se tomaron en cuenta únicamente las coberturas naturales (pajonal, almohadilla, bosque de *polylepis* y bosque montano) debido a que no sería apropiado utilizar las restantes coberturas por su antropización.

Después de correr la prueba de Kruskal-Wallis (Anexo 3.) se encontró que la K_{sat} , C.E, M.O, NT, NH_4 , Na, DA, HS y CC, presentan diferencias estadísticas entre horizontes. En el Anexo 3, el valor-P es menor a 0.05, por lo tanto se puede concluir que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas de los diferentes elementos analizados para el caso de la comparación entre epipedones y endopedones. En base a lo dicho anteriormente para los posteriores análisis estadísticos se uso una base de datos por separado, epipedones y endopedones.

a) Efectos de la altitud en los Epipedones.

Inicialmente se realizó un análisis de correlación de Spearman (Anexo 4.) entre las propiedades físicas y químicas con respecto a la altura. Del mismo que se concluye que ninguna variable está altamente correlacionada con la altitud ($Rho \geq 0.65$). Complementario a esto se realizó un análisis de conglomerados usando el método del vecino más lejano, para identificar asociaciones y estructuras en los datos que no son evidentes a primera vista.

En la Figura 15., se observa el análisis de conglomerados para el Epipedón, en donde se muestran tres gráficos que representa al mismo conglomerado pero con distintas variables para ayudar la interpretación, de esta manera se puede apreciar de una manera más amplia como se forman los conglomerados y así poder entender cuáles son los factores de mayor influencia sobre las características de los suelos.

En la primera Figura podemos observar cómo se agruparon los distintos tipos de suelos (Andosol, Histosol y Cambisol) en el dendograma, dejándonos ver que la formación de los grupos, esta principalmente ligada a las características típicas de cada suelo, sin embargo podemos identificar que un sitio

correspondiente a Histosol se encuentra dentro del grupo de los Andosoles, lo que nos indica que el mismo tiene características ándicas importantes como; un contenido de Al+H de $5.46 \text{ meq } 100\text{ml}^{-1}$ y un contenido de M.O. de 20.58% siendo inferior al promedio registrado por Borja et al. (2008) del 56%.

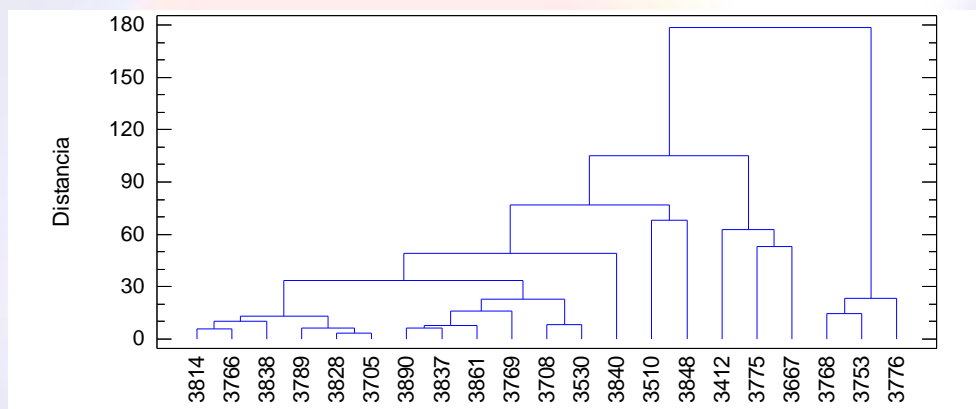
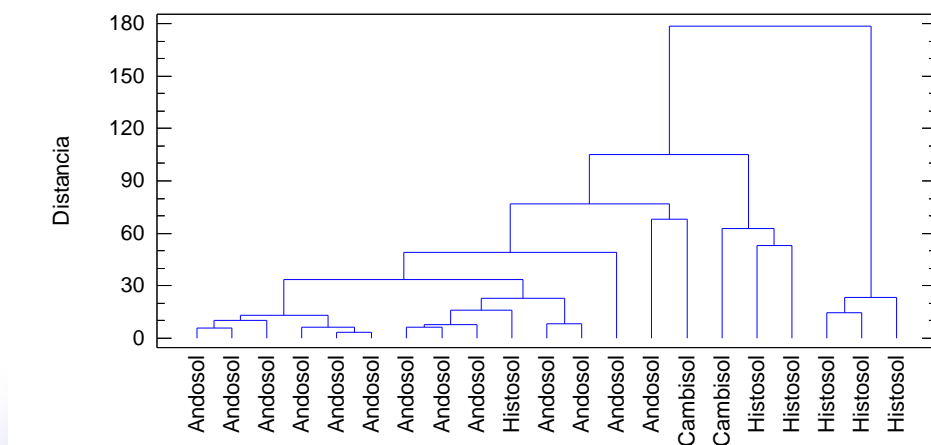
En el siguiente dendograma, se consideró la cobertura vegetal como variable para identificar agrupaciones, teniendo como resultado que en Andosoles la vegetación típica es el pajonal, para Histosoles la vegetación donde se los encuentran son: la almohadilla y bosque de *polylepis* y para Cambisoles se encontró coberturas como pajonal y bosque montano alto, cabe recalcar que para Cambisoles e Histosoles se recolectaron pocas observaciones, 2 y 6 respectivamente por lo que no solo en las coberturas señaladas se podrían encontrar éstos grupos de suelos. Este dendograma muestra que a más de las características físico-químicas, la cobertura vegetal también juega un papel importante en la formación de los conglomerados, separando a los Histosoles bajo almohadilla en un subgrupo y a Histosoles bajo bosque de *polylepis* en otro grupo. Para el



caso de los Cambisoles también hay una separación de grupos para las distintas coberturas, mientras que para el caso de los Andosoles por poseer una sola cobertura, se forma un grupo definido.

Finalmente, el último dendograma muestra como están agrupadas las observaciones en base a la altitud, donde no se observa un clúster con características similares, sugiriendo que la altitud no define predominantemente características físico-químicas de los suelos.

En la investigación realizada por Zehetner y Miller (2006) se concluye que existen efectos significativos de la altura sobre las propiedades físicas y químicas en un rango altitudinal de 2500 a 2700 m s.n.m en donde se encuentra la transición a Andosoles, las observaciones del presente trabajo se encuentran en un rango altitudinal de 3443 a 3890 m s.n.m, donde el efecto de la altura aparentemente no tiene una influencia acentuada, la mayor influencia está dada por el clima (precipitación, evapotranspiración y temperatura) y por el material originario orgánico e inorgánico que contribuyen a una acumulación de la materia orgánica (Parfitt et al., 1997).



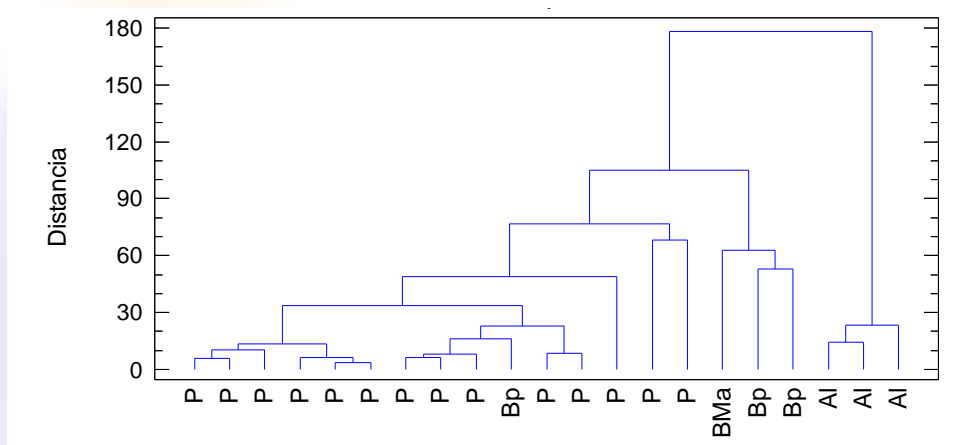


Figura 15. Dendogramas para el total de muestras Epipedón.

b) Efectos de la altitud en los Endopedones

Los resultados del Anexo 4., muestran que no existe relación predominante entre la altura y las propiedades físicas y químicas del Endopedón, excepto el Al+H ($Rho=-0.76$) que tiene una elevada relación debido a la alta meteorización de la ceniza volcánica ocasionada por la variación térmica y la humedad que provocan la liberación del Al (Buytaert et al., 2005) y que es lixiviado por procesos de infiltración al horizonte mineral donde se forman hidróxidos de aluminio que no son intercambiables, ni en la fracción mineral, ni en la fracción orgánica del suelo (Thomas, 2006); por lo que al aumentar la altura, la disponibilidad del aluminio se verá disminuida.

El análisis de conglomerados para el Endopedón (Figura 16.) conformado por 4 gráficos que se tratan del mismo conglomerado pero con distintas variables, para facilitar la interpretación de los factores de mayor influencia sobre las características de los suelos.

En la primera Figura del análisis de clúster, se consideró la variable suelos, en donde no se distingue ninguna característica común dentro de cada conglomerado, a diferencia del epipedón, lo que nos habla de una uniformidad



relativa de las propiedades físico - químicas del endopedón, para todos los grupos de suelos (Andosol, Histosol y Cambisol), sin embargo, los conglomerados están dados por las propiedades de cada horizonte, en el primer clúster hay una agrupación de los horizontes B, BC y C, con un contenido de M.O. de 7.93%, una D.A. de $0.84 \text{ g cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, HS de $0.69 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, CC de $0.64 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ y PM de $0.32 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$; mientras tanto el siguiente clúster agrupa horizontes con menos características minerales (AH, Ah, AC, Ab y C) que los anteriores, con un contenido promedio de M.O. de 14.94%, D.A. de 0.70 g cc^{-1} , HS de $0.73 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, CC de $0.68 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, y PM de $0.33 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$; dentro del segundo clúster, se observar un horizonte “C”, debido a la transferencia de características orgánicas de los horizontes superiores por procesos de lixiviación (Porta et al.,2003). Finalmente el ultimo clúster, tiene características distintas a los grupos descritos anteriormente, como, un contenido de M.O. de 43.71%, D.A. de 0.18 g cc^{-1} , HS de $0.80 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, CC de $0.78 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ y PM de $0.18 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, por lo que se encuentra fuera de los conglomerados antes mencionados.

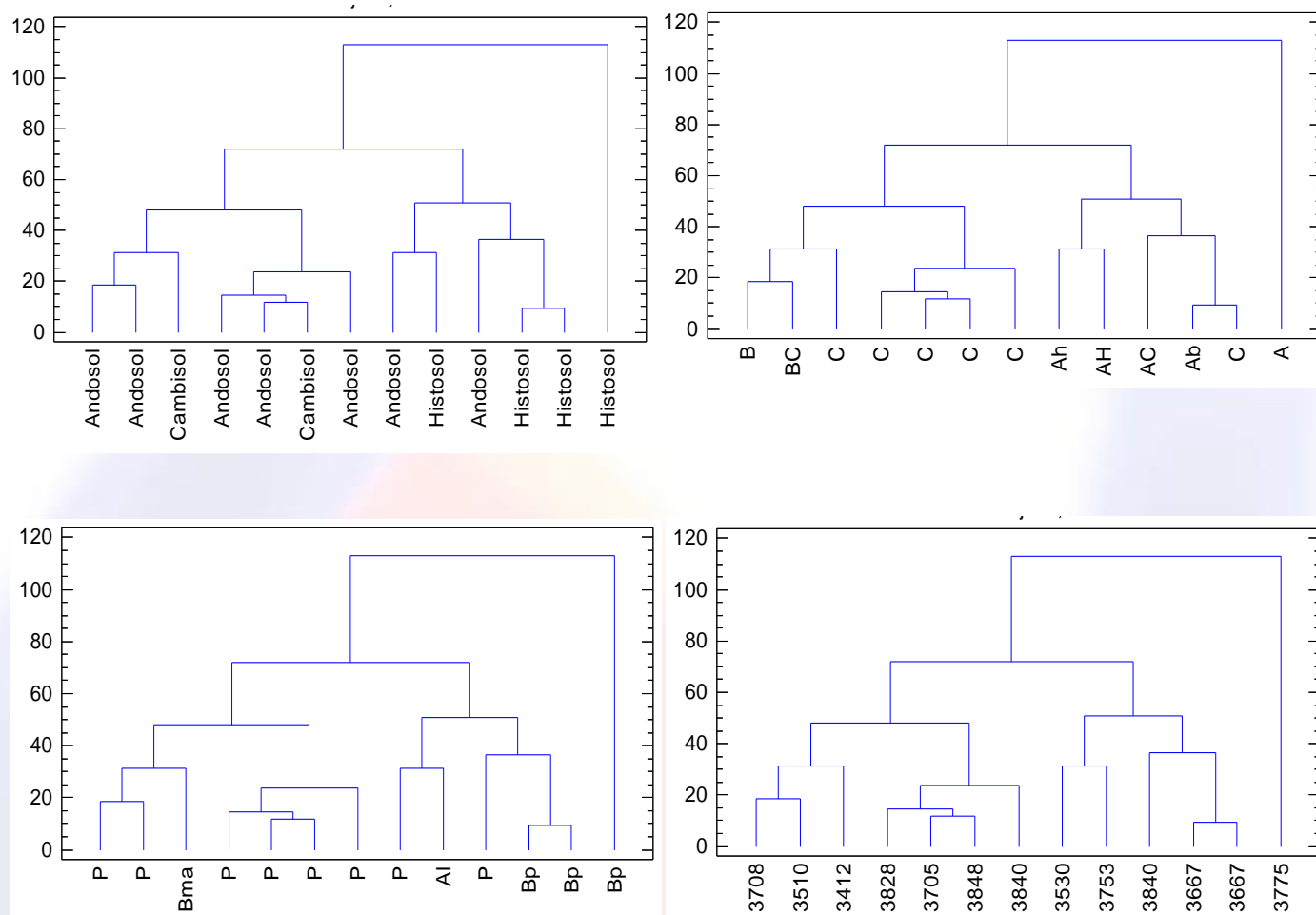


Figura 16. Análisis de conglomerados para el Endopedón.

En la Figura 16., donde se toma en cuenta la variable cobertura, no se observa una agrupación definida, lo que se aprecia es que se mantiene el tipo de cobertura por grupo de suelos como en el Epipedón, además podemos ver que la



altura no influye en la formación de los clúster, ratificándonos en lo dicho en el horizonte superior.

4.2.4. Efectos de la cobertura vegetal y uso del suelo sobre las propiedades físico-químicas de los principales suelos.

En las Tablas 1 y 2 se muestran las propiedades físicas y químicas de los grupos de suelos encontrados en el área de estudio (Andosoles, Histosoles y Cambisoles). Los análisis que se utilizaron para identificar los efectos del cambio de cobertura sobre las propiedades en dichos suelos son de carácter exploratorio de datos, siendo: Análisis Discriminantes, AD (Fisher, 1936) y Análisis de Componentes Principales, ACP (Hotelling, 1933), para Epipedones y Endopedones.

a) Efectos de la cobertura sobre el Epipedón



El Análisis Discriminante se hizo a un nivel de significación del 5%, reuniendo el 92.99% de la variabilidad total de las observaciones, el mismo que nos muestra que existen diferencias significativas entre los suelos bajo las distintas coberturas analizadas y, por lo que se puede concluir que, el cambio de uso del suelo y vegetación influye sobre las propiedades de los suelos. En la Figura 17., se puede apreciar que cada una de las coberturas se encuentran claramente separadas, sin embargo los suelos con cobertura de pajonal (P), pajonal quemado (Pq) y bosque de pino (Bpi) se encuentran bastante cerca, indicándonos que hay cierta relación entre los suelos bajo estas coberturas, debido a que bajo estas coberturas se encuentran generalmente Andosoles

.

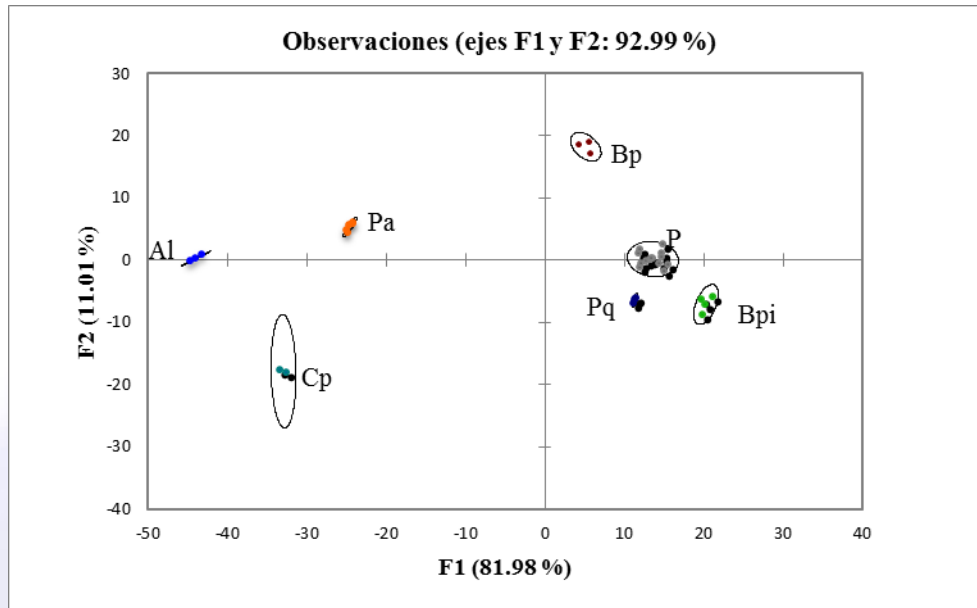


Figura 17. Diferencias entre los tipos de cobertura de las observaciones muestreadas, (Epipedón).

También podemos observar que los suelos con cultivo de papas (Cp), almohadilla (Al), pasto (Pa) y Bosque de *polylepis* (Bp), tienen una alta variabilidad, y poseen diferencias significativas con las coberturas antes nombradas y entre ellas mismas. Para el caso de de los suelos bajo cultivo de papas presentan cambios en las propiedades físicas a comparación con los suelos bajo pajonal (Tabla 1), como una disminución de M.O. (23.26-30.09%), un ligero aumento de la D.A (0.37-0.50 g cm⁻³), una ligera disminución de la Ksat



(0.64-2.04 cm h⁻¹) y finalmente para los valores de retención de humedad el punto de HS y CC son similares, por el contrario para el PM donde se registra una disminución (0.19-0.54 cm³ cm⁻³), en cuanto a las propiedades químicas, el contenido de nitrato NO₃ es el que presenta mayor variación con un contenido superior para los suelos bajo cultivo de papas con un rango entre 24.8-107.3 ppm.

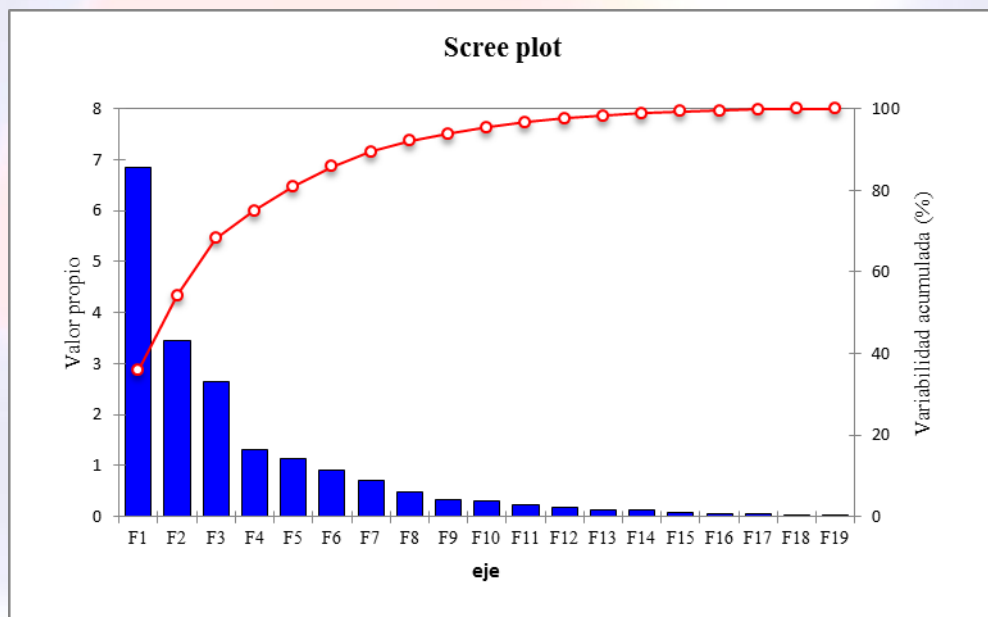
Los suelos bajo pastos presentan variaciones a comparación de los suelos cubiertos por pajonal en los contenidos de M.O., registrándose una disminución en la misma (13.81-35.68 %), para la D.A., y K_{sat} se registra un aumento de las mismas que se encuentra entre 0.43-0.84 g cm⁻³ y 1.08-4.08 cm h⁻¹ respectivamente, y finalmente podemos observar una disminución general de la retención de humedad en el suelo en los puntos de humedad de saturación, capacidad de campo y punto de marchitez.

También se puede notar en la Figura 16, que los suelos bajo almohadilla no tienen ninguna relación con las otras coberturas debido a que se encuentran sobre Histosoles, siendo sus características distintas a la de los otros grupos de

suelos con diferentes coberturas como se explicó anteriormente.

Es de notar que los suelos con cobertura de bosque montano alto no constan en el análisis, esto se debe a que solamente se contaba con una muestra de la misma para éste horizonte, razón por la cual se analizó por separado.

A continuación, para poder explicar las diferencias entre los grupos se aplicó el ACP, que nos va mostrar la incidencia de



cada variable (físico-química), sobre el suelo de la zona en estudio.

Figura 18. Variabilidad explicada por los componentes resultantes del ACP con las variables correlacionadas en el epipedón.

En la Figura 18., se puede observar la variabilidad que explica cada componente, en vista de la alta variabilidad de los datos solamente se van a tomar los 3 primeros factores que reúnen el 68.14% de la variabilidad total de los datos, en donde C1 explica el 35.99% de la variabilidad total, el C2 el 18.21% de la variabilidad total y finalmente el C3 el 13.93% de la variabilidad total.

En la Figura 19., se puede apreciar las correlaciones que existen entre cada componente y las variables, donde podemos ver que para el C1, las variables son: C.E. ($r^2=0.79$), M.O. ($r^2=0.67$), NT ($r^2=0.86$), NH_4 ($r^2=0.64$), K ($r^2=0.68$), Na ($r^2=0.79$), DA ($r^2=-0.84$), HS ($r^2=0.76$), CC ($r^2=0.83$) y PM ($r^2=-0.72$).

Mientras que para el C2 tenemos que la K_{sat} ($r^2=0.70$), SB ($r^2=0.69$), Ca ($r^2=0.93$) y para el Mg ($r^2=0.91$) tienen una alta correlación. Finalmente para el C3 las siguientes variables tienen una alta correlación: pH ($r^2=-0.54$), NO_3 ($r^2=0.57$) CIC ($r^2=0.72$) y Al + H ($r^2=0.73$).

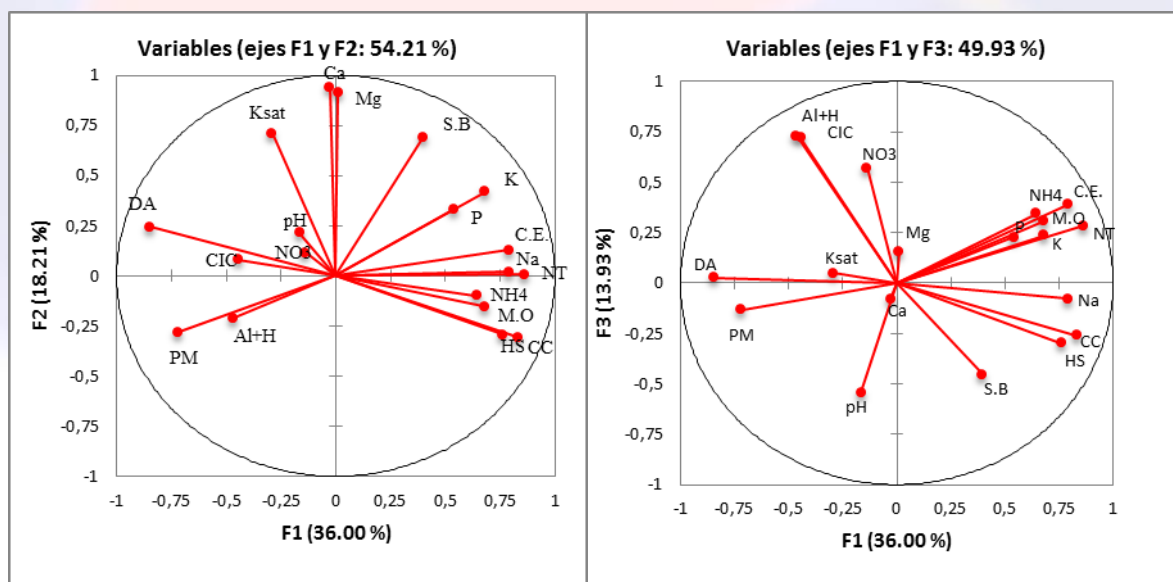


Figura 19. Círculos de correlaciones para los componentes del epipedón de los distintos tipos de cobertura y uso del suelo.

En la Tabla 4., se puede observar la contribución (%) de las variables respecto a cada componente, de donde podemos decir que el componente C1 está explicado por las propiedades físicas (M.O., D.A., HS, CC y PM) con un aporte del 44.64%, en cuanto a las propiedades químicas (CE, NT, NH_4 , K y Na) contribuyen con 42.05%, sumando entre las ambas el 86.70% de la variabilidad total del C1. El segundo componente C2 está explicado por la K_{sat} , SB, Ca y Mg que aportan el 14.54%, 13.74 %, 25.40 % y 24.18 % respectivamente de la variabilidad, acumulando entre estas el 77.87 %. El componente C3 recoge el 13.93% de la variabilidad total, siendo las variables pH, NO_3 , CIC y Al+H, las que explican el 63.28 % de la variabilidad total del C3.

Tabla 4. Contribución de las variables (%), para cada componente (Epipedón).

	C1	C2	C3
Ksat	1.241	14.541	0.091

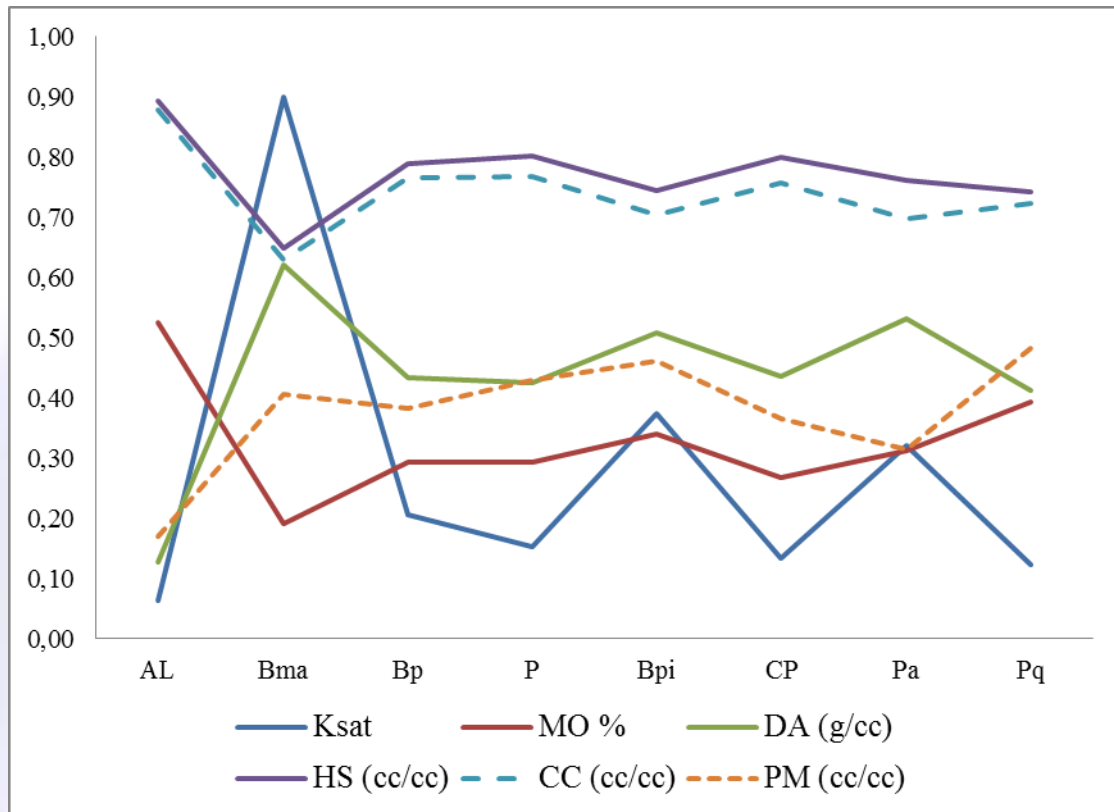
pH	0.399	1.328	11.178
C.E.	9.144	0.481	5.704
M.O.	6.715	0.677	3.581
S.B.	2.306	13.742	7.758
CIC	2.857	0.190	19.669
NT	10.887	0.001	3.062
NH ₄	6.052	0.283	4.531
NO ₃	0.276	0.392	12.366
P	4.279	3.197	1.954
K	6.762	5.109	2.102
Ca	0.012	25.408	0.236
Mg	0.002	24.180	0.944
Na	9.211	0.010	0.226
Al+H	3.166	1.295	20.070
DA	10.514	1.698	0.026
HS	8.488	2.468	3.337
CC	10.111	2.727	2.519
PM	7.578	2.272	0.646

En base a lo explicado por el ACP, podemos decir que las propiedades físicas en el Epipedón, son las más afectadas por el cambio de uso del suelo, como lo mencionan Hofstede (1995), Poulenard et al. (2001), Buytaert et al. (2004, 2005) y Poulenard et al. (2003).

Los contenidos de humedad en HS y CC para los suelos bajo almohadilla, bosque de *polylepis* y pajonal, son superiores a las registradas en los suelos bajo coberturas antropizadas

(Figura 20), evidenciando un cambio en las propiedades de los suelos por cobertura, lo que nos hablaría de una disminución de la M.O. y un aumento de la D.A. para las coberturas inferidas. El contenido de M.O. para el bosque de pino (13.33 – 48.04%) es superior al registrado por pajonal y bosque de *polylepis* (12.82 – 44.15% y 18.33 – 48.80 % respectivamente), en contraposición a lo afirmado en trabajos realizados por Hofstede (2000) y Suárez (2000), en donde mencionan que los suelos bajo plantaciones de pinos se vuelven más secos, menos orgánicos, más ácidos y más gruesos. También se puede notar que K_{sat} en los suelos con bosque de pino ($1.94 - 7.44 \text{ cm h}^{-1}$) y pasto ($1.08 - 7.47 \text{ cm h}^{-1}$) aumenta a comparación de los suelos bajo pajonal ($0.53 - 2.71 \text{ cm h}^{-1}$), atribuyéndose este aumento a cambios estructurales por procesos naturales, actividades de manejo (Porta et al. 2003), el tipo de materia orgánica y al posible flujo preferencial.

Figura 20. Características Hidrofísicas de las distintas coberturas vegetales.

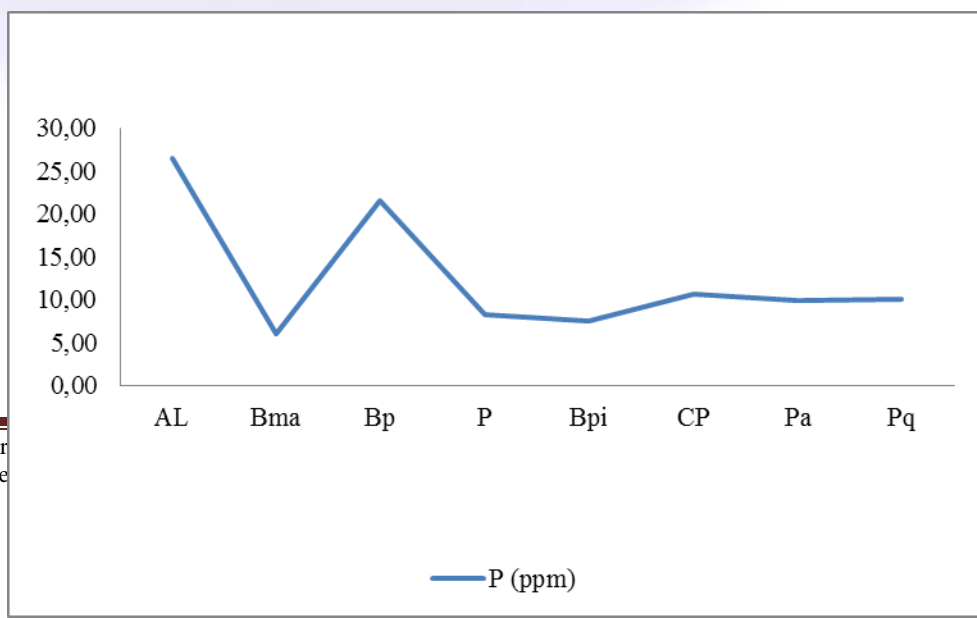
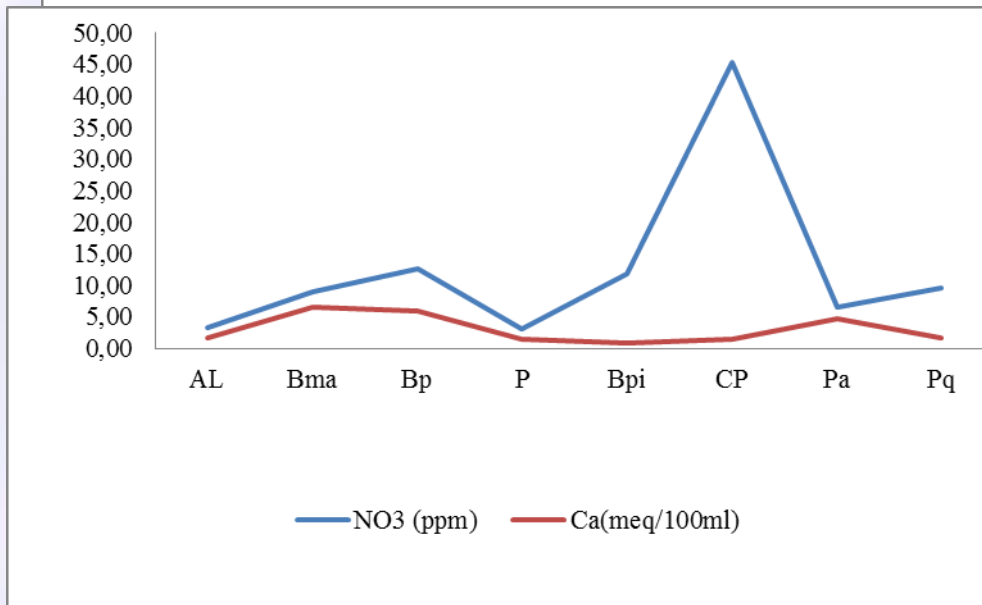
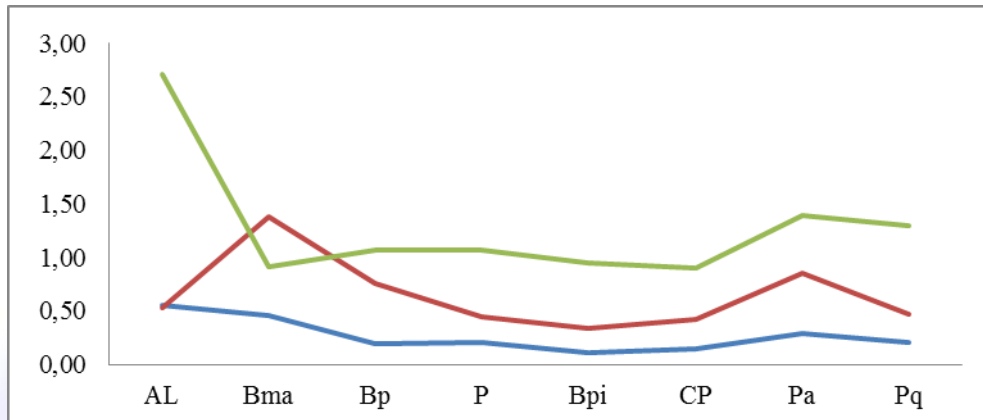


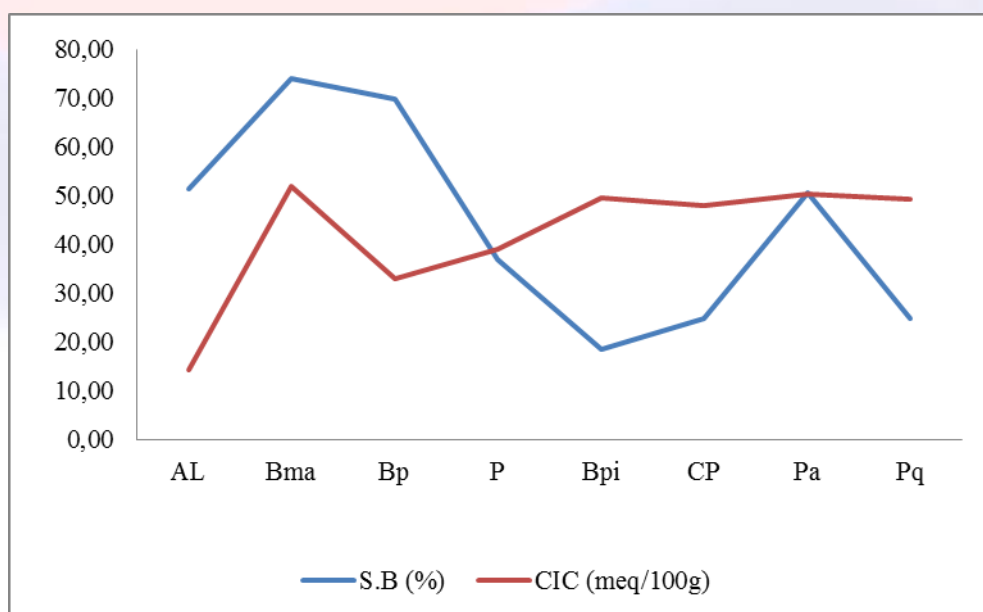
Al bosque montano se lo detalla aparte por sus características. Como se puede ver en la Figura 20., los contenidos de humedad en HS y CC, son los más bajos, también posee una Ksat elevada de 8.99 cm h^{-1} , a comparación de los restantes suelos, lo que se le atribuye a posibles flujos preferenciales y a su bajo contenido de M.O. (19.1%), provocando el aumento de la D.A.



En cuanto a las propiedades químicas de los suelos, están en dependencia del material originario, o complejos órgano-metálicos (aluminio- humus) (van Ranst, 1997).

Según el ACP, las propiedades químicas de los suelos, no se ven afectadas por el cambio de coberturas, sin embargo se han encontrado algunas diferencias como es el caso del pH (Figura 21.), que presenta un rango para los suelos bajo coberturas naturales entre 4.30 – 7.80 y un rango para los suelos con coberturas antropizadas de 4.00 – 5.30, siendo este último más bajo, indicándonos que hay pérdida de bases debido al lavado de las mismas, o por extracción de bases por la vegetación (Porta et al., 2003). La SB refleja lo dicho anteriormente, ratificando que, para los suelos con coberturas naturales el rango en porcentaje de S.B., va de (17.67 – 91.59 %) y para los suelos bajo coberturas antropizadas oscila entre (10.16 – 87.74%).





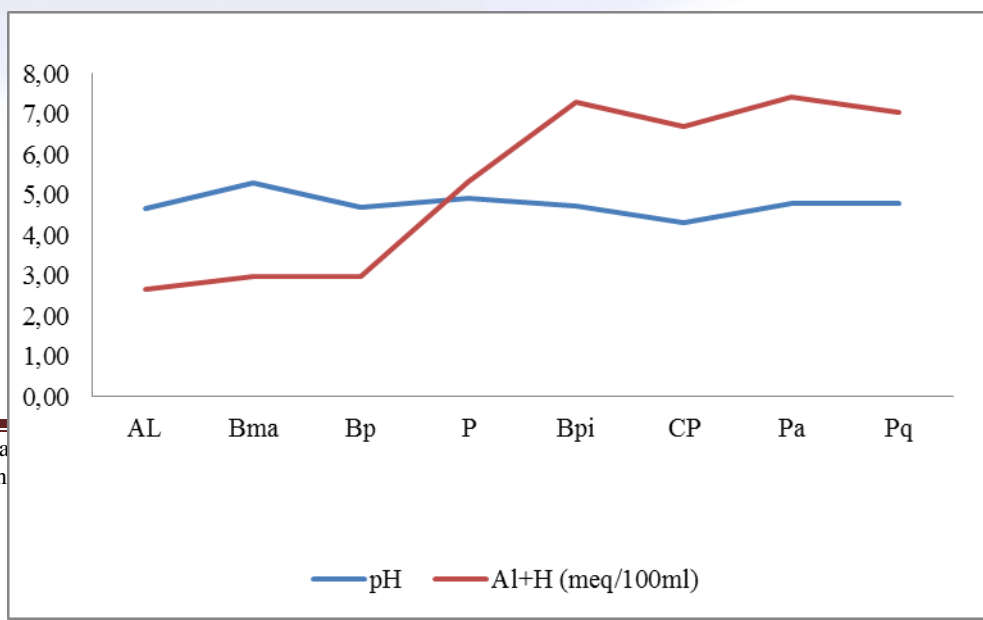
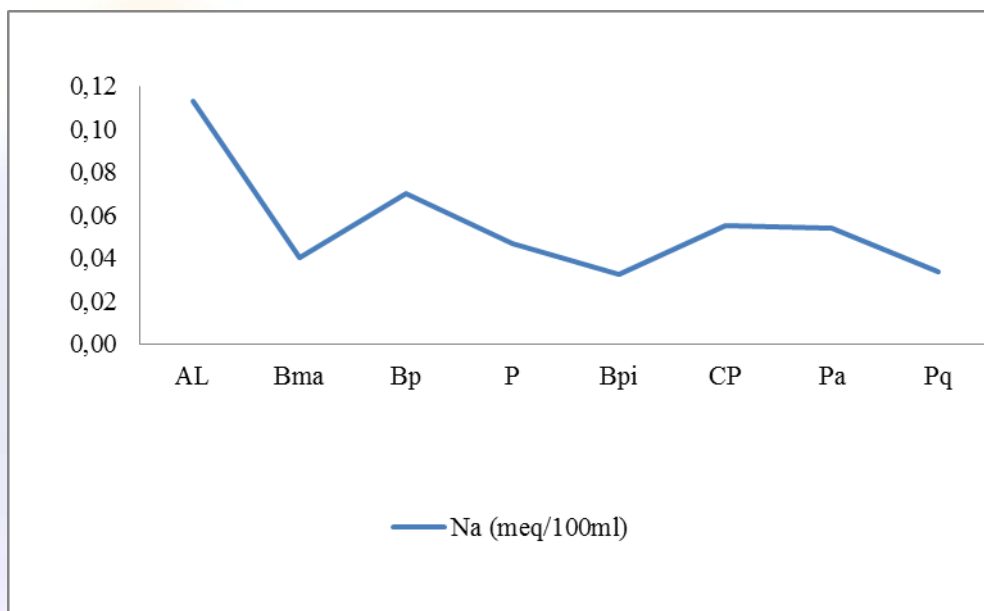


Figura 21. Características químicas bajo distintos tipos de coberturas vegetales.

La CIC para los suelos bajo coberturas naturales, registran un rango de $8.40 - 76 \text{ meq } 100 \text{ ml}^{-1}$ y para los suelos con coberturas intervenidas oscila entre $18 - 90 \text{ meq } 100 \text{ ml}^{-1}$, siendo esta última ligeramente más alta, según Porta et al. (2003) la CIC que se presenta para los suelos bajo coberturas naturales y antropizadas, estarían asociadas con la materia orgánica y su grado de descomposición (humificación).



En cuanto a la presencia de aluminio este se encuentra en grandes cantidades ya que los suelos de la zona se formaron a partir de cenizas volcánicas, se puede observar que en el caso del contenido de aluminio para los suelos con almohadilla ($2.28 - 3.05 \text{ meq } 100\text{ml}^{-1}$) es menor, debido a procesos de lixiviación y también a un proceso más largo en la evolución (Borja et al., 2008). En el caso de los suelos bajo pajonal el contenido de aluminio ($2.13 - 10.56 \text{ meq } 100\text{ml}^{-1}$) es menor al encontrado en los suelos bajo coberturas antropizadas ($1.37 - 16.97 \text{ meq } 100\text{ml}^{-1}$), en donde el aluminio se encuentra con mayor disponibilidad debido a procesos de meteorización y destrucción de las cenizas volcánicas, siendo el catión Al^{+3} el más común en un pH inferior a 5, tornándose tóxico (Porta et al., 2003). El contenido de nitrógeno en su forma amoniacal para los suelos bajo almohadilla tiene un contenido muy superior a comparación de los otros suelos como se indicó anteriormente, donde su contenido se debe a las condiciones de ausencia de oxígeno (Borja et al., 2008). En cuanto a los suelos restantes bajo coberturas naturales y antropizadas, los valores de nitrógeno en su forma amoniacal son menores, encontrando un mayor contenido de N disponible en solución,



sin embargo cabe recalcar que en el caso del suelo con cultivo de papas (Tabla 5.), el contenido de NO_3 es superior a todos los suelos, dándonos a suponer que se realizó una fertilización.



Tabla 5. Promedios de las propiedades físico - químicas bajo las coberturas de la zona (Epipedón).

	Almohadilla	Bosque montano	Bosque de polylepis	Pajonal	Bosque
Ksat	0,62 (0.48-0.79)	8.99	2,07 (0.67-4.55)	1,53 (0.53-2.71)	(1.9)
pH	4,67 (4.40-4.90)	5.30	4,70 (4.30-5.10)	4,90 (4.30-7.80)	(4.5)
C.E. (mmhos/cm)	0,61 (0.55-0.68)	0.19	0,31 (0.25-0.34)	0,17 (0.04-0.30)	(0.0)
M.O (%)	52,47 (39.31-61.63)	19.10	29,24 (18.33-48.80)	29,40 (12.82-44.15)	3 (13.3)
S.B (%)	51,46 (47-55.47)	74.04	69,97 (44.96-91.59)	36,90 (17.67-66.24)	1 (10.16)
CIC (meq/100g)	14,27 (8.40-24)	52.00	33,07 (13.20-46)	39,03 (8.80-76)	(30.0)
NT (%)	2,71 (2,29-3.10)	0.91	1,07 (0.95-1.26)	1,06 (0.54-1.64)	(0.4)
NH4 (ppm)	245,73 (194.70-297.38)	60.00	123,53 (109.20-144.60)	126,52 (90.70-208.70)	1 (12.10)
NO3 (ppm)	3,33 (1-5.50)	9.00	12,63 (4.10-28.30)	2,96 (0.10-7.50)	1 (0,20)
P (ppm)	26,50 (21-35)	6.00	21,50 (10.40-37.50)	8,33 (3.60-13.50)	(5,70)
K (meq/100ml)	0,56 (0.43-0.68)	0.46	0,20 (0.07-0.27)	0,20 (0.06-0.40)	(0.0)
Ca (meq/100ml)	1,67 (1.13-2.46)	6.52	5,91 (3.75-7.53)	1,44 (0.79-3.22)	(0.7)
Mg (meq/100ml)	0,53 (0.53)	1.38	0,76 (0.55-1.07)	0,45 (0.28-0.70)	(0,2)



Na (meq/100ml)	0,11 (0.08-0.13)	0.04	0,07 (0.06-0.09)	0,05 (0.03-0.07)	(0.0
Al+H (meq/100ml)	2,66 (2.28-3.05)	2.97	2,99 (0.82-5.46)	5,34 (2.13-10.56)	(3.41

Tabla 5. Promedios de las propiedades físico - químicas bajo las coberturas de la zona (Epipedón) (continuación).

	Almo hadilla	Bos que mon tano	Bosq ue de Polyl epis	Pajo nal	Bosq ue de pino	Cultivo de Papas	Pasto	Pajona l Quema do
Cu (ppm)	1,07 (0.40- 1.60)	5.30	1,41 (0.52- 2)	1,63 (0.38- 4.70)	2,20 (1.10 - 3.80)	1,85 (0.80 - 2.90)	2,54 (1.40 - 6.12)	1,17 (0.30 - 1.90)
Fe (ppm)	1303,76 (562- 2698.79)	104.40	779,80 (39.90- 1332)	369,91 (31.20- 1520)	690,65 (63.10 - 1277.00)	509,20 (50.90 - 967.50)	790,40 (376.50 - 1572.50)	702,67 (276.50 - 1532.50)
Mn (ppm)	4,13 (2.10- 5.90)	65.20	25,77 (2.60- 69.80)	11,73 (1.20- 52.80)	30,46 (1.90 - 113.84)	6,60 (2.30 - 10.90)	14,26 (2.40 - 34.40)	5,27 (1.60 - 11.40)
Zn (ppm)	6,87 (6.60- 7.10)	6.5	6,70 (5.90- 7.90)	7,09 (3.30- 24.20)	3,83 (2.70 - 4.60)	4,35 (2.90 - 5.80)	9,96 (4.00 - 27.30)	5,10 (3.20 - 7.80)
SO4 (ppm)	7,2 (2.80-	4.9	7,77 (6.60-	11,37 (1.20-	4,10 (2.10 -	5,85 (3.10 -	14,04 (6.20 -	13,7 (4.60-

)	13.70)		10)	64.58)	6.40)	8.60)	23.80)	18.90)
DA (g/cc)	0,13 (0.11- 0.15)	0.62	0,43 (0.33- 0.61)	0,43 (0.27- 0.68)	0,51 (0.37 - 0.78)	0,44 (0.37 - 0.50)	0,53 (0.10 - 0.84)	0,41 (0.38 - 0.43)
HS (cm³/ cm⁻³)	0,89 (0.85- 0.96)	0.65	0,79 (0.76- 0.81)	0,80 (0.67- 0.92)	0,74 (0.65 - 0.80)	0,80 (0.79 - 0.82)	0,76 (0.65 - 0.83)	0,74 (0.71 - 0.77)
CC (cm³/ cm⁻³)	0,88 (0.85- 0.95)	0.63	0,77 (0.73- 0.79)	0,77 (0.66- 0.88)	0,70 (0.63 - 0.74)	0,76 (0.75 - 0.77)	0,70 (0.57 - 0.82)	0,72 (0.71 - 0.73)
PM (cm³/ cm⁻³)	0,17 (0.14- 0.19)	0.41	0,38 (0.35- 0.42)	0,43 (0.33- 0.53)	0,46 (0.39 - 0.52)	0,37 (0.19 - 0.54)	0,31 (0.10 - 0.41)	0,48 (0.42 - 0.52)

Los suelos de la zona de estudio a más de poseer altos contenidos de Al como ya se explicó anteriormente, también tienen altos contenidos de Fe como se puede ver en la Tabla 5., en donde los suelos bajo almohadilla posee la mayor cantidad de este elemento, es importante notar que los suelos bajo coberturas antropizadas presentan un aumento del contenido de Fe a comparación de los suelos con pajonal, volviéndose tóxico lo que deriva en un menor pH de éstos

suelos, ocasionando una mayor movilidad del hierro. Algunos elementos como el P, Na, Cu y SO_4 se encuentran en pequeñas cantidades ya que se ven condicionados por el pH y las grandes cantidades de Al y Fe (Borja et al., 2008).

b) Efectos de la cobertura sobre el Endopedón.

El Análisis Discriminante para el endopedón (Figura 22.), contiene el 100% de la variabilidad total de las observaciones, a un nivel de significación del 5%, se puede observar que hay una diferencia entre los suelos con diferentes coberturas, como es el caso del bosque de *polylepis* y pasto que se encuentran formando un grupo distante al conformado por pajonal quemado, pajonal y cultivo de papas, indicándonos que existen diferencias entre las características de los suelos. También se puede notar que los suelos bajo almohadilla y bosque montano alto no están incluidos en el Análisis Discriminante, debido a que se encontró una sola repetición de los suelos bajo las coberturas antes mencionadas.

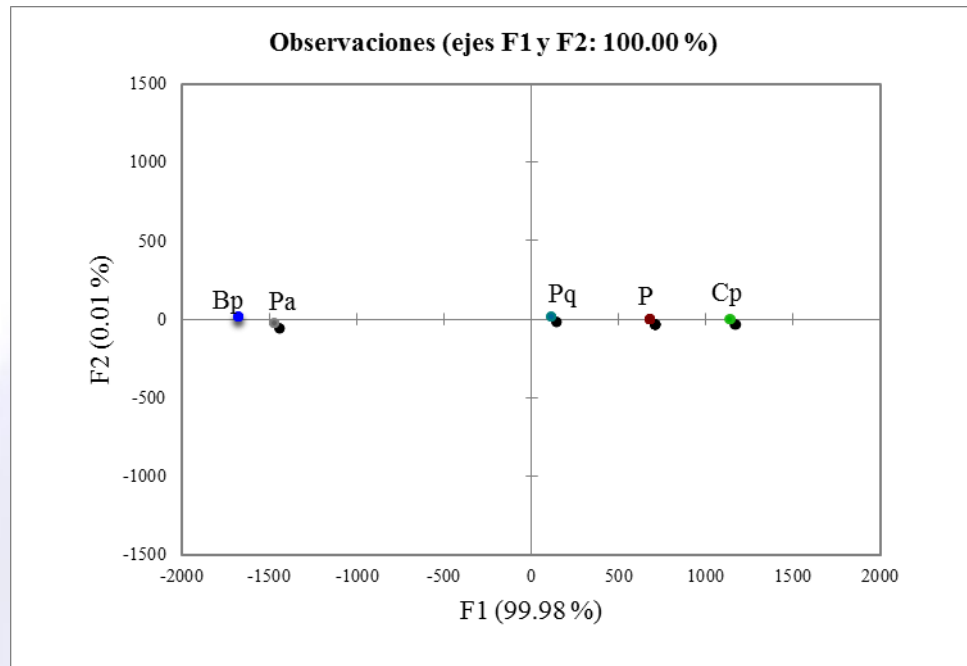


Figura 22. Diferencias entre los tipos de cobertura de las observaciones muestreadas (Endopedón).

A continuación se realizó el ACP para encontrar cuales son las propiedades que más están influyendo sobre el endopedón. En la Figura 23., se puede ver la variabilidad que explica cada componente, para este estudio se tomaron en

cuenta los tres primeros componentes que explican el 66.57% de la variabilidad total de los datos, en donde el C1 explica el 38.66% de la variabilidad total, el C2 indica el 17.26% de la variabilidad total y finalmente el C3 el 10.64% de la variabilidad total.

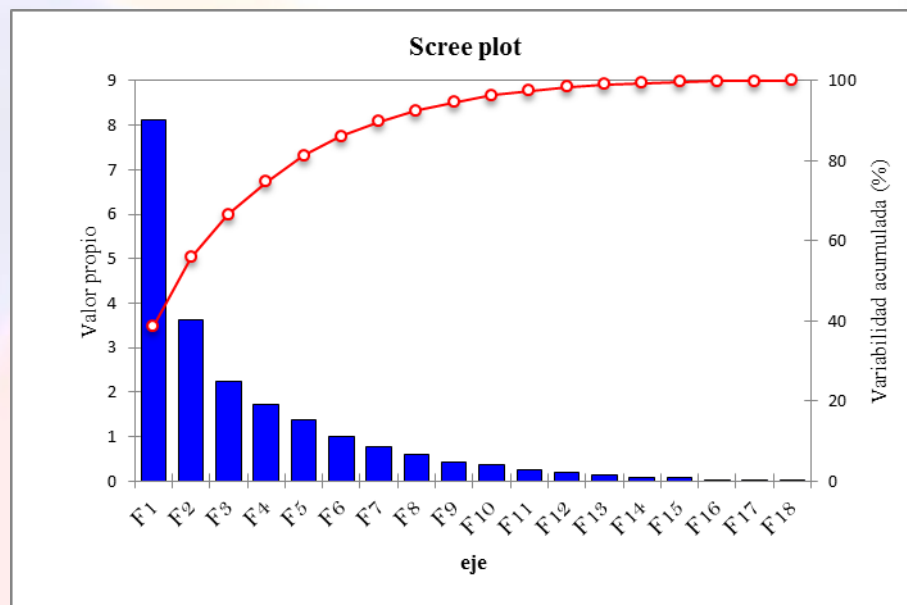


Figura 23. Variabilidad explicada por los componentes resultantes del ACP en el Endopedón.



En la Figura 24., se puede observar las correlaciones de cada las variables con respecto a cada componente, en donde las variables mas correlacionadas con el componente C1 son: pH, CE, NT, NH₄, P, K, Na, B, SO₄, MO, DA, HS y CC. En cuanto al componente C2, las variables altamente correlacionadas son: Fe, Mn, B, Ksat, HS y CC.

Finalmente para el componente C3 con alta correlación son: SB, CIC y Al+H.

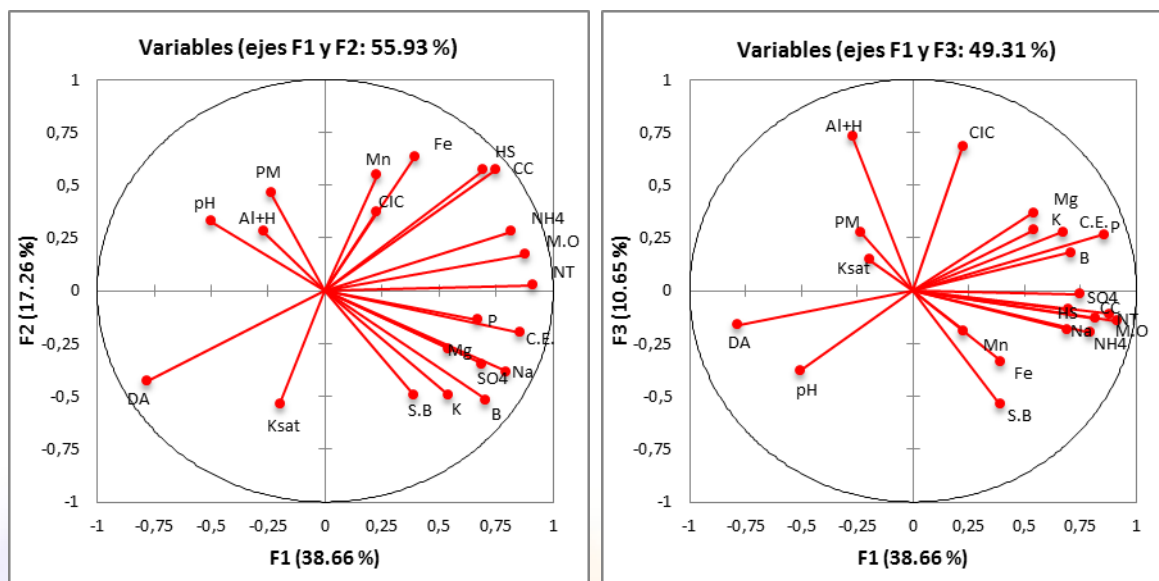


Figura 24. Círculos de correlaciones para los componentes del Epipedón, de los distintos tipos de cobertura y uso del suelo.

Para una interpretación más clara de la Figura 23, a continuación se detalla la contribución de cada una de las variables mejor correlacionadas con respecto a cada componente en porcentaje (Tabla 6.). En el componente C1 las propiedades químicas como: pH, CE, NT, NH₄, P, K, Na, B y SO₄, aportan con el 63.04 % de la variabilidad, mientras que las propiedades físicas como: MO, DA, HS y CC aportan con el 29.89 % de la variabilidad, sumando entre ambas el 92.93 % de la variabilidad de C1. En el caso del componente

C2 las propiedades físicas Ksat, HS y CC aportan con el 25.90 % y las propiedades químicas Fe, Mn y B aportan con el 26.66%, sumando el 52.56% de la variabilidad total del componente C2. Finalmente el componente C3 esta explicado únicamente por las propiedades químicas SB, CIC y Al+H que aportan con el 57.75% de la variabilidad total del tercer componente.

Tabla 6. Contribución de las variables (%), para cada componente (Endopedón).

	C1	C2	C3
K _{sat}	0,47	7,86	0,96
pH	3,10	2,97	6,31
C.E.	9,01	1,07	3,13
M.O.	9,54	0,81	0,53
S.B.	1,85	6,76	12,91
C.I.C.	0,61	3,79	21,02
N.T.	10,28	0,02	0,90
NH ₄	8,22	2,19	0,76
P	5,55	0,53	3,48
K	3,58	6,70	3,70
Mg	3,58	2,08	6,13
Na	7,75	4,01	1,77
Al+H	0,90	2,17	23,80
Fe	1,89	11,03	4,99

Mn	0,62	8,25	1,59
B	6,11	7,37	1,45
SO4	5,82	3,30	1,47
DA	7,56	5,06	1,16
HS	5,91	9,01	0,35
CC	6,86	9,02	0,01
PM	0,69	5,91	3,48

El ACP ilustró, que las propiedades químicas son las más influyentes sobre el Endopedón, a diferencia del Epipedón, donde las propiedades físicas son las más influyentes. En la Tabla 7., podemos darnos cuenta que el pH para los suelos con coberturas antropizadas el rango es de (4.5 – 6.2) siendo alto a comparación de los suelos bajo pajonal donde ligeramente bajó, oscilando entre (4.50 – 5.20). El aumento del pH para los suelos bajo coberturas antropizadas nos habla de una mejor disposición de los elementos, en donde el contenido de Al+H y Fe ya no serían una limitante, razón por la cuál, la CIC se ve mejorada (18 – 68 meq 100ml⁻¹) para el Endopedón de las coberturas antropizadas, atribuyéndose esta mejora a las propiedades de la materia orgánica en descomposición y arcillas silicatadas (McFee et al., 1976), afirmándonos lo encontrado en la Tabla 7, donde se puede



observar un aumento de la M.O. para los suelos con coberturas antropizadas, siendo el rango entre (1.67 – 56.16%) a comparación de los suelos con pajonal (0.43 – 38.92%).

En cuanto a la S.B. encontramos algo contradictorio, ya que al aumentar el pH deberíamos encontrar una mayor cantidad de bases, lo que nos habla de una pérdida de bases como anteriormente se citó a través de Porta et al. (2003), explicando que la disminución de bases se debe a la extracción por parte de la vegetación y también por procesos de lavado.

En cuanto a las propiedades físicas expuestas en la Tabla 7 de los endopedones, podemos observar que los valores promedio de DA para los suelos bajo coberturas antropizadas es mas baja ($0.09 - 0.86 \text{ g cm}^{-3}$) que los encontrados para pajonal ($0.42 - 1.13 \text{ g cm}^{-3}$), lo que está ligado al mayor contenido de M.O. en los suelos bajo coberturas antropizadas. Los contenidos de humedad de los endopedones bajo coberturas antropizadas, son similares a la de los suelos que se encuentran bajo pajonal.

Las características físicas de los endopedones bajo bosque montano alto se las trata por separado debido a que son distintas a las registradas por los endopedones bajo distintas coberturas, como por ejemplo se puede ver una k_{sat} mayor (2.11 cm h^{-1}) y un menor contenido de humedad en los puntos de HS, CC y PM, que estan sujetos al bajo contenido de M.O. (1.61%), con respecto a las otras coberturas.

Tabla 7. Promedios de las propiedades físico-químicas bajo las coberturas de la zona (Endopedón).

	Almohadilla	Bosque Montano	Bosque de polylepis	Pajonal	Culti pa
Ksat	0,21	2,11	0.78 (0.11 - 1.36)	1,06 (0.33-3.73)	1, (0.93
pH	4,4	4,7	4.80	4,89	5,



			(4 - 5.30)	(4.50-5.20)	(4.5
C.E. (mmhos cm ⁻¹)	0,27	0,06	0.22 (0.07 - 0.51)	0,09 (0.02-0.23)	0, (0.02
M.O (%)	54,99	1,61	20.60 (7.46 - 43.71)	8,73 (0.43-38.92)	4, (3.68
S.B (%)	31,3	42,2	69.24 (56.08 - 90.80)	46.48 (7.66-78.94)	38 (26.87
CIC (meq 100g ⁻¹)	22	42	46.67 (44 - 48)	33.55 (11.60-72.00)	2 (18.00
NT (%)	2,24	0,14	0.88 (0.25 - 2.12)	0,32 (0.06-1.20)	0, (0.20
NH4 (ppm)	117,4	4,3	85.43 (65.90-117.40)	41.15 (2.70-193.50)	24 (14.20
NO3 (ppm)	2,1	4,3	4.40 (2.0 -6.10)	3,18 (0.10-14.40)	13 (1.00-
P (ppm)	8,3	2,3	36.89 (20.90 – 66.26)	4.18 (0.10-10.50)	0, (0.10
K (meq 100ml ⁻¹)	0,15	0,12	0,20 (0.11-0.37)	0,15 (0.03-0.25)	0, (0.03
Ca(meq 100ml⁻¹)	0,97	10,45	7,66 (5.08 -12.71)	1,01 (0.78-1.27)	0, (0.68
Mg (meq/100ml ⁻¹)	0,3	1,25	0,93 (0.63 -1.54)	0,34 (0.30-0.41)	0, (0.25
Na (meq 100ml ⁻¹)	0,07	0,03	0,05 (0.03-0.08)	0,04 (0.02-0.05)	0, (0.02
Al+H (meq/100ml ⁻¹)	3,27	16,23	3.30 (1.49 -4.59)	5.05 (0.64-19.53)	2, (0.95

¹⁾					
Cu (ppm)	1,7	4,7	2,57 (2.50 - 2.70)	1.58 (0.50-3.40)	0, (0.62
Fe (ppm)	834	156,5	657.63 (110.40-955.00)	231.31 (19.90-635.00)	12, (29.60-

Tabla 7. Promedios de las propiedades físico-químicas bajo las coberturas de la zona (Endopedón) (continuación).

	Almohadilla	Bosque Montano	Bosque de polylepis	Pajonal	Cultivo de papas	Pajonal quemado	Pasto
Mn (ppm)	2,1	5	30.90 (3.90 - 48.60)	2.21 (1.10-5-40)	1,55 (0.80-2.30)	5,35 (1.50-9.20)	31.80 (31.60-32.0)
Zn (ppm)	2,5	5,5	6.97 (4.50-11-20)	4.70 (1.02-12.30)	3,7 (2.20-5.20)	4,1 (3-5.20)	17.76 (12.20-25-50)
SO4 (ppm)	7,1	0,5	6.50 (1.80-15.60)	6.38 (1.80-15-70)	2,3 (2.0 - 2.60)	0,9 (0.50-1.30)	8.60 (5.5-11.7)
DA (g cc⁻¹)	0,17	0,77	0,44 (0.18 - 0.86)	0,85 (0.42-1.13)	0,85 (0.84-0.86)	0,43 (0.42-0.44)	0,45 (0.09-0.80)
HS (cm³ cm⁻³)	0,82	0,66	0,79 (0.72-0.87)	0,7 (0.57-0.82)	0,66 (0.63-0.69)	0,74 (0.73-0.75)	0,80 (0.74-0.87)
CC (cm³)	0,81	0,6	0,78 (0.70-	0,64 (0.54-	0,61 (0.59-	0,73 (0.72-	0,78 (0.70-



cm ⁻³)			0.84)	0.79)	0.63)	0.73)	0.86)
PM			0,37	0,33	0,35	0,28	0,20
(cm ³	0,19	0,25	(0.18-	(0.21-	(0.34-	(0.13-	(0.07-
cm ⁻³)			0.50)	0.53)	0.37)	0.43)	0.34)

5. CONCLUSIONES

Los principales grupos de suelos encontrados en la microcuenca del río Zhurucay son: Andosoles, Histosoles y



Cambisoles. Los Andosoles se registran entre los 3443 a 3890 m s.n.m., los Histosoles entre 3667 a 3799 m s.n.m., y los Cambisoles oscilan entre 3228 a 3848 m s.n.m.

Las principales coberturas y usos de suelo encontrados en la zona de estudio son: pajonal, almohadilla, bosque montano alto, bosque de *polylepis*, pajonal quemado, pasto, cultivo de papas y bosque de pino. La actividad humana en la zona de estudio es netamente agropecuaria, siendo las coberturas naturales alteradas, como es el caso del pajonal que se lo quema para conseguir brotes palatables para el ganado o para cultivos.

Se rechaza la hipótesis alternativa, donde la altura influye en las propiedades físicas y químicas de los suelos, por el contrario esta no influye sobre dichas propiedades. La zona de estudio se encuentra en un rango altitudinal de 3228 a 3890 m s.n.m en donde la uniformidad de las condiciones climáticas, acumulación de materia orgánica y las deposiciones volcánicas en este intervalo hace que la altitud no tenga una fuerte influencia.

Por otra parte, se acepta la hipótesis alternativa donde el cambio de uso de suelo y de la cobertura vegetal afecta a las



propiedades físicas y químicas de los suelos. Las actividades humanas como ganadería, establecimiento de cultivos y forestación con plantas exóticas, alteran las propiedades de los suelos. La división en horizontes, nos permite ver que, en los epipedones la cobertura influye sobre las propiedades físicas y para los endopedones intervienen sobre las propiedades químicas.

Los cambios de uso de suelo de pajonal a cultivo de papas y pasto, fueron las que más impacto causaron sobre las propiedades físicas como: materia orgánica, densidad aparente, conductividad hidráulica saturada, humedad de saturación, capacidad de campo y punto de marchitez. En el caso del cultivo de papas se pudo observar una variación notable en el contenido de NO_3 (24.8 – 65.78 ppm). El cambio de uso de suelo de pajonal a bosque de pino, no registra un gran impacto sobre las propiedades físico – químicas del suelo.

Las propiedades físicas se ven principalmente influenciadas por los contenidos de materia orgánica, en donde un alto contenido provoca una disminución de la densidad aparente y aumento en el contenido de la retención de humedad, los



cambios de cobertura alteran la calidad de la materia orgánica afectando las propiedades químicas que están relacionadas con la misma. .

Los Endopedones están ligados a las propiedades químicas, que por distintos procesos como lixiviación, meteorización e iluviación hacen que este horizonte esté influenciado por las propiedades químicas, como es el caso del pH, Al+H y Fe que provocan la disponibilidad de los distintos elementos. Todos los procesos que influyen sobre éstos horizontes estarían provocados por los cambios de coberturas, en especial de las interferidas por el hombre.

6. RECOMENDACIONES

- Realizar un análisis más profundo sobre la influencia de la posición fisiográfica en las características físicas y químicas de los suelos.
- Recolectar más información de los sitios de donde no se levantó suficientes datos, con el fin de poder analizar a mayor detalle los resultados.
- Al ser las propiedades físicas las más influyentes sobre el Epipedón, es necesario hacer un seguimiento para verificar que cambios hay a largo plazo, y así saber de manera acertada que cobertura o uso de suelo no causa daños sobre las propiedades de los suelos, y así hacer



frente a la problemática del ascenso de la frontera agrícola a zonas de páramo.

- Es importante tener en cuenta que el método usado para la determinación de la textura (método de la pipeta) en suelos orgánicos provoca la formación de pseudo arenas a partir de la disgregación de la materia orgánica, razón por la cual se debe tomar en cuenta antes de cualquier análisis.
- En estudios posteriores sería importante analizar a mayor profundidad si la pérdida de bases se debe a la extracción de la vegetación o por procesos de lavado.
- La presente investigación, puede ser la base para un estudio más profundo de la degradación de los suelos y posibles procesos erosivos debido al cambio de uso de suelo, y en lo posterior ayudar a un análisis sobre la recuperación de las características de los suelos.
- En base a lo expuesto es muy importante considerar un mejor manejo del uso del suelo, ya que se trata de un



ecosistema vulnerable y de gran importancia, debido a que son prestadores de múltiples servicios a la población, entre los principales esta la producción del recurso hídrico, captación de CO₂ y centros con altos endemismos de fauna y flora (Páez y Kolter, 2008).



BIBLIOGRAFÍA

1. BACUILIMA, F.; J. BACUILIMA y W. BERMEO. 1999. Caracterización de clima por Microcuencas en el Austro Ecuatoriano. Master's Thesis. Facultad de Ingeniería, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
2. BELTRÁN, K.; S. SALGADO; F. CUESTA.; S. LEÓN-YÁNEZ; K. ROMOLEROUX; E. ORTIZ; A. CÁRDENAS y A. VELÁSTEGUI. 2009. Distribución Espacial, Sistemas Ecológicos y Caracterización Florística de los Páramos en el Ecuador. EcoCiencia, Proyecto Páramo Andino y Herbario QCA. Quito.
3. BOSCH, J. y J. HEWLETT. 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. J. Hydrol. 55: 3–23.



4. BORJA, P. y J. GARRIDO. 2003. Análisis de las características Hidrofísicas de los Andosoles y la influencia del uso del suelo en su capacidad de retención de agua. PROMAS – Universidad de Cuenca. Tesis de Ingeniero Agrónomo.
5. BORJA, P.; V. IÑIGUEZ; P. CRESPO; F. CISNEROS y P. CISNEROS. 2008. Características físico – químicas de Histosoles y Andosoles de los páramos de Quimsacocha, Ecuador. 11p.
6. BRISTOW, C.R. y HOFFSTETTER, R. 1977. Lexique Stratigraphique International. V.5, Amérique Latine, fasc. 5 a 2, Ecuador (Second Edition). Centre National de la Recherche Scientifique.
7. BRISTOW, C. y J. PARODIZ. 1982. The stratigraphical paleontology of the tertiary non-marine sediments of Ecuador. Volumen 19. 53p



8. BUSSMAN, R. 2005. Bosques andinos del sur de Ecuador, clasificación, regeneración y uso. *Rev. Perú biol.* Volumen 12: 203-216.
9. BUYTAERT, W.; B. DE BIEVRE; J. DECKERS y G. DERCON. 2000. Influence of land use on the hydrological properties of volcanic soils.
10. BUYTAERT, W. 2004. The Properties of the soils of the South Ecuadorian páramo and the impact of land use changes on their hydrology. P.h. D. Thesis, Katholieke Universiteit Leuven.
11. BUYTAERT, W.; J. SEVINK y J. DECKERS. 2004. Clay Mineralogy of the Soils in the South Ecuadorian Páramo Region. Publicación digital en la página web de Wouter Buytaert.
<<http://www.paramo.be/pubs/geoderma.pdf>>
12. BUYTAERT, W.; G. WYSEURE; B. DE BIÈVRE y J. DECKERS. 2005. The effect of land use changes on the



hydrological behavior of Histic Andosols in south Ecuador. Hydrological Processes (no Publicado).

13. BUYTAERT, W.; CÉLLERI, R.; B. DE BIÈVRE y F. CISNEROS. 2006. Hidrología del páramo andino: propiedades, importancia y vulnerabilidad.
14. BUYTAERT, W.; J. DECKERS y G. WYSEURE. 2007. Regional variability of volcanic ash soils in south Ecuador: The relation with parent material, climate and land use. *Catena*. 70: 143-144.
15. BUYTAERT, W.; IÑIGUEZ, V.; y B. DE BIÈVRE. 2007. The effects of afforestation and cultivation on water yield in the Andean páramo. *Ecol. Manage.*
16. BUYTAERT, W.; F. CUESTA – CAMACHO y C. TOBÓN. 2011. Potential Impacts of climate change on the enviromental services of humid tropical alpine regions. *Global ecology and Biogeography*. London. 19 – 33.



17. CASTAÑO, C. 2002. Páramos y ecosistemas alto andinos de Colombia en condición hotspot y global climatic tensor. IDEAM, Bogotá. 387pp.
18. CARRIÓN, J. 2000. Breves consideraciones sobre la avifauna paramera del Ecuador. En: La biodiversidad de los páramos. Serie Páramo 7: 23-30. GTP/Abya Yala. Quito.
19. CHACÓN, G.; D. GAGNON y D. PARÉ. 2009. Comparison of soil properties of native forests, Pinus patula plantations and adjacent pastures in the Andean. Soil Use and Management(25), 427–433.
20. CONSEJO PROVINCIAL DEL AZUAY. 1991. Plan de desarrollo Integral de la Provincia del Azuay. Tomo 3. Editorial Internacional. Cuenca – Ecuador. 39p.
21. CORTES, 1994 y CHAMORRO, 1989 En REYES; Z.R.Z Y FUNDACION ECOSISTEMAS ANDINOS. 1995. Volumen I de series Montañas tropoandinas. “El



páramo: un ecosistema de alta montaña”. ECOAN. 168 p.

22. CRESPO, P.; J. FEYEN; W. BUYTAERT; A. BÜKER; L. BREUER; H. FREDE y M. RAMÍREZ. 2011. Identifying controls of the rainfall–runoff response of small catchments in the tropical Andes (Ecuador). *J. Hidrol.* 407, 164-174.
23. CUATRECASAS, J. 1968. Páramo vegetation and its life forms. En: Troll, C. (ed.) *Geoecology of the mountainous regions of the tropical Americas*. Coll. Geogr. 9.
24. DE BIÉVRE, B. 2002. Water demand–supply and administrative management in medium sized irrigation schemes in the sierra of Ecuador. Unpublished PhD thesis, Katholieke Universiteit Leuven.
25. DE BIÉVRE, B. 2004. Efectos de la cobertura vegetal en Microcuencas de páramo. Departamento de Investigación de la Universidad de Cuenca.



26. DE BIÉVRE, B.; V. IÑIGUEZ y W. BUYTAERT. 2006. Hidrología del páramo: Importancia, propiedades y vulnerabilidad. Conocer para conservar. Publicación digital en la página de Wouter Buytaert. <<http://www.paramo.be/pubs/ES/Hidroparamo.pdf>>. Búsqueda realizada 12 de septiembre del 2010.
27. DECKERS, J.; F. NACHTERGAELE y O. SPAARGAREN. 1998. World Reference Base for soil resources. Roma – Italia.
28. DUNCAN, M. 1995. Hydrological impacts of converting pasture and gorse to pine plantation and forest harvesting, New Zealand. Journal of hydrology 34(1):15-41.
29. ELECAUSTRO. 2005. Información Centrales Hidroeléctricas. Disponible en <<http://www.elecaustro.gov.ec/>>. Búsqueda realizada el 15 de septiembre del 2010.



30. FAO/ISRIC/ISSS, 1998. World Reference Base for Soil Resources. No. 84 in World Soil Resources Reports. FAO, Rome.
31. FAO. 2001. "Lectures Notes on the Major Soils of the World". Roma – Italia.
32. FAO. 2006. Guidelines for soil description. Soil Resources, Management and Conservation Service. Fourth edition. Roma – Italia.
33. FARLEY, K.; E. KELLY y R. HOFSTEDE. 2004. Soil organic carbon and water retention after conversion of grasslands to Pine plantations in the Ecuadorian Andes. *Ecosystems* 7: 729–739.
34. FISHER, R. 1936. The use of multiple measurements in taxonomic problems. *Annals of Humn genetics*, 7 (2) 179 – 188.
35. GOLCHIN, A.; J. BALDOCK; P. CLARKE; T. HIGASHI; y J. M.OADES. 1997. The effects of



vegetation and burning on the chemical composition of soil organic matter of a volcanic ash soil by C NMR spectroscopy. II. Density fractions. *Geoderma*, 76: 175 - 192.

36. HALL, M. y B. BEATE. 1991. El volcanismo Plio-Cuaternario en los Andes del Ecuador. En: *El Paisaje Volcánico de la Sierra Ecuatoriana; Estudios de Geografía*. 5-13.
37. HEDBERG, I. y O. HEDBERG. 1979. Tropical-alpine lifeforms of vascular plants. *Oikos*. 33: 297-307.
38. HOFSTEDE, R. 1995. Effects of burning and grazing on a Colombian páramo ecosystem. P.h. D. Thesis, University van Amsterdam.
39. HOFSTEDE, R; J. LIPS; W. JONGSMA e Y. SEVINK. 1998. *Geografía ecología y forestación en la sierra alta del Ecuador*. Ediciones Abya Yala. Quito, Ecuador.



40. HOFSTEDE, R. 2001. El impacto de las actividades humanas sobre el páramo. En: Mena, P., G. Medina y R. Hofstede (Eds.). Los páramos del Ecuador. Particularidades, problemas y perspectivas. Abya Yala/Proyecto Páramo. Quito.
41. HOFSTEDE, R.; J. GROENENDIJK; R. COPPUS; J. FEHSE y J. SEVINK. 2002. Impact of pine plantations on soils and vegetation in the Ecuadorian High Andes. Mountain Res. Dev. 22: 159–167.
42. HOLDRIDGE, L. 1947. Determination of World Plant Formations from Simple Climatic Data. Science Volumen 105 No. 2727: 367-368.
43. HOTELLING, H. 1933. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *Journal of Educational Psychology*, 417–441, 498–520.
44. ICS, 2008. INTERNATIONAL STRATIGRAPHIC CHART.



45. IÑIGUEZ, V. 2003. Balance hídrico de Microcuencas de páramo. Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Cuenca.
46. IÑIGUEZ, V.; P. BORJA; P. CRESPO y F. CISNEROS. 2008. Importancia de la Hidropedología en la Determinación de Procesos Hidrológicos a Escala de Ladera en Zonas de Páramo. XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo.
47. IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma.
48. KESSLER, M. 2006. Bosque de *Polylepis*. Botánica Económica de los Andes Centrales. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz. 110 – 120.



49. KÖRNER, CH. y W. LARCHER. 1988. *Plant life in cold climates*. En: Long, S.F. y F.I. Woodward (Eds.). *Plants and temperature*. CBL. Cambridge.
50. LAEGAARD, S. 1992. *Influence of fire in the grass páramo vegetation of Ecuador*. En: Balslev, H. y J.L. Luteyn (Eds.). *Páramo: an Andean ecosystem under human influence*. Academic Press. Londres.
51. LIPS, J. 1998. Geografía de la Sierra Andina Ecuatoriana. En: Hofstede, R.; J. Lips y Jongsma (eds). *Geografía, ecología y forestación de la Sierra alta del Ecuador*. Editorial Abya Yala. Quito – Ecuador.
52. LUTEYN, J. 1992. Páramos: why study them? In: Balslev, H. and Luteyn, J. L. (eds.), *Páramo: an Andean ecosystem under human influence*. Academic Press London. 14 p
53. LUTEYN, J. 1999. Páramos: A checklist of Plant Diversity, Geographical distribution and Botanical



Literature. The New York Botanical Garden. New York.
84: 1 – 278 p.

54. MAEDA, T.; H. TAKENAKA y B. WARKENTIN.
1977. Physical properties of allophone soils. Advances
in Agronomy. Volumen 29: 50 – 5598.
55. McFEE, W.; J. KELLY y R. BECK. Departments of
Agronomy, Forestry and Natural Resources, and
Agronomy, Purdue University, West Lafayette, Ind.
47907, U.S.A.
56. MEDINA, G.; C. JOSSE y P. MENA. 2000. La
forestación en los páramos. Serie Páramo 6 GTP.
Editorial Abya Yala. Quito, Ecuador.
57. MEDINA, G. y P. VÁSCONEZ. 2001. Los páramos
en el Ecuador. In: in *Los páramos del Ecuador*, edited
by P. M. Vásconez, G. Medina, and R. Hofstede.
Proyecto Páramo. Quito, Ecuador. 24p.



58. MEDINA, G. y R. HOFSTEDE. 2006. Los páramos Del Ecuador. Proyecto Páramo, Quito, Ecuador.
59. MEJÍA, S. y M. MINCHALA. 2003. Manual de laboratorio de Hidrofísicas de suelos. PROMAS- Universidad de Cuenca- Ecuador.
60. MENA, P. y H. BALSLEV. 1986. Comparación entre la vegetación de los páramos y el cinturón afroalpino. Reports from the Botanical Institute, University of Aarhus 12: 1-54 p.
61. MENA, P.; C. JOSSE y G. MEDINA. 2000. Los Suelos del Páramo. Serie Páramo 5 GTP. Editorial Abya Yala. Quito, Ecuador. 74 p.
62. MENA, P. 2001. La biodiversidad de los páramos en el Ecuador. En Mena Vásconez, P.; G. Medina y R. Hofstede (eds). Los páramos del Ecuador, problemas y perspectivas. Editorial Abya Yala. Quito. 27 – 52.



63. MENA, P. y R. HOFSTEDE. 2006. Los páramos ecuatorianos. Botánica Económica de los Andes Centrales. Universidad mayor de San Andrés. La Paz. 91 – 109.
64. MOLINILLO, M. y M. MONASTERIO. 1997. Pastoreo y conservación en áreas protegidas de páramo de la cordillera de Mérida, Venezuela. Centro de Investigaciones Ecológicas de Los Andes Tropicales (CIELAT). Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
65. MOLINILLO, M. y M. MONASTERIO. 2002. Patrones de vegetación y pastoreo en ambientes de páramo. Ecotrópicos 15(1): 19-34.
66. MORA, L. 2002. La necesidad urgente de mantener el equilibrio dinámico del ciclo hídrico. En: Memorias Congreso Mundial de Páramos. Editorial Gente Nueva. Bogotá-Colombia. 271-276.



67. PÁEZ, A. y L. KOLTER. 2008 Panorama y Perspectivas sobre la Gestión Ambiental de los Ecosistemas de Páramo Memorias. Bogotá, Colombia. 9 p.
68. PARFITT, R.; B. THENG; J. WHITTON Y T. SHEPHERD. 1997. **Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. Geoderma 75: 1 – 12.**
69. PICCOLO, A. y J. MBAGWU. 1999. Role of Hydrophobic Components of Soil Organic Matter in Soil Aggregate Stability. Soil Science Society of America Journal, 63: 1801–1810.
70. PODWOJEWSKI, P. 1999. Los suelos de las tierras andinas: Páramos del Ecuador. Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo. Boletín informativo N. 18. Quito – Ecuador.
71. PODWOJEWSKI, P. y J. POULENARD. 2000. Los suelos de los páramos en el Ecuador. En: Los suelos de



páramo. Serie Páramo 5 GTP. Editorial Abya Yala. Quito.

72. PODWOJEWSKI, P.; J. POULENARD; T. ZAMBRANA y R. HOFSTEDE. 2002. Overgrazing effects on vegetation cover and properties of volcanic ash soil in the páramo of Llangahua and La Esperanza (Tungurahua, Ecuador). *Soil Use and Management*.
73. PODWOJEWSKI, P. y J. POULENARD. 2006. Paramos Soils. En R. Lal, *Encyclopedia of Soil Science* (Second ed., págs. 1239-1242). New York, EU.: CRC Press Taylor & Francis Group.
74. PORTA, J.; M. LOPEZ y C. ROQUERO DE LOBURU. 2003. "Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente". 3^{da} edición. Editorial Mundi Prensa. Madrid – España. 960 p.
75. POULENARD, J.; P. PODWOJEWSKI; J. JANEAU; y J. COLLINET. 2001. Runoff and soil erosion under rainfall simulation of andisols from the Ecuadorian



páramo: effect of tillage and burning. *Catena*, 45: 185–207.

76. POULENARD, J.; P. PODWOJEWSKI; y A. HERBILLON. 2003. Characteristics of nonallophanic Andisols with hydric properties from the Ecuadorian páramo. *Geoderma*, 117: 267–281p.
77. POURRUT, P. 1994. Leau en Equateur, principaux acquis en hydroclimatologie. Collection Etude et Thèses. Orstom Paris.
78. PRATT, W.; J. FIGUEROA y B. FLORES. 1997. Mapa Geológico de la Cordillera Occidental del Ecuador entre 3° -4° S. CODIEM, MEM.
79. PUTUHENA, W. e I. CORDERY. 2000. Some hydrological effects of changing forest cover from eucalypts to *Pinus radiata*. *Agricultural and Forest Meteorology* 100: 59-72.



80. RAMSAY, P. y E. OXLEY. 2001. An assessment of aboveground net primary productivity in Andean grasslands of Central Ecuador. *Mountain Research and Development* 21(2): 161-167.
81. SHOJI, S.; T. KUREBAYASHI e I. YAMADA. 1990. Growth and chemical composition of japanese pampas grass (*Miscanthus sinensis*) with special reference to the formation of dark-colored Andisols innortheastern Japan. *Soil Sci. Plant Nutr.* 36:105-120.
82. STEIMANN, W. 1997. The Cuenca basin of southern Ecuador: tectono-sedimentary history and Tertiary Andean evolution. Ph.D. tesis no publicada, Institute of Geology, ETH Zurich, Switzerland.
83. SUAREZ, L. 2000. La forestación en la Sierra Ecuatoriana: El punto de vista ambiental. En *La Forestación en los Páramos. Serie Páramo 6*. GTP/Abya Yala. Quito.



84. THOMANE, R.; D. MOTIRAMANI e Y. BAJ. 1978. Suelos: Su Química y Fertilidad en zonas Tropicales. Editorial Diana, México.
85. THOMAS, G. 2006. Ph. En Encyclopedia of soil science. Taylor y Francis Group, New York. 1270 – 1274.
86. TIRIRA, D. 2000. Listado Bibliográfico sobre los Mamíferos del Ecuador. Boletines Bibliográficos sobre la Biodiversidad del Ecuador 2. Publicación Especial sobre los Mamíferos 3. EcoCiencia/SIMBIOE. Quito.
87. ULLOA, C. y P. JØRGENSEN. 1995. Árboles y arbustos de los altos Andes del Ecuador. AAU Reports: 30: 1 – 264.
88. ULLOA, C.; S. ALVAREZ; P. JØRGENSEN y D. MINGA. 2005. Cien Plantas Silvestres del Páramo, Parque Nacional Cajas, Azuay Ecuador. ETAPA, Cuenca, Ecuador. Publicación digital en la página web del Missouri Botanical Garden (USA). 85p.



89. UNIVERSIDAD DEL AZUAY. 2008. Grupo consultor. Informe Auditoría Ambiental de Quimsacocha.
90. UNIVERSIDAD DE CUENCA. Departamento de investigaciones. Disponible en <<http://rai.ucuenca.edu.ec/investigacion/márgenes/cuadro1.html>>. Obtención de información hidrometeorológica. Búsqueda realizada el 13 de septiembre del 2010.
91. USDA, 2000. Preocupación acerca del recurso de calidad del suelo: Hidrofobicidad. Natural resources conservation service. Departamento de Agricultura de Estados Unidos.
92. VAN DER HAMMEN, T. y A. CLEEF. 1986. Development of the high Andean páramo flora and vegetation. En: High altitude tropical biogeography. (F. Vuilleumier y M. Monasterio, (eds.), Oxford University Press. 153 – 201.



93. VAN RANST, E. 1997. Tropical Soils: Geography, Classification, Properties and Management. Laboratory of Soil Science. Gent, Belgium.
94. VÁZQUEZ, M. 2000. Páramos en áreas protegidas: El caso del Parque Nacional Llanganates. En: La biodiversidad de los páramos. Serie Páramo. GTP/AbyaYala. Quito. 7: 55-70.
95. VERWEIJ, P. 1995. Spatial and temporal modeling of vegetation patterns. Burning and grazing in the páramo of Los Nevados National Park, Colombia. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences ITC.
96. VUILLE, M.; R. BRADLEY Y F. KEIMIG. 2000. Climate variability in the Andes of Ecuador and its relation to tropical Pacific and Atlantic sea surface temperature anomalies. J. Clim. 13 (2), 2520–2535.
97. WADA, K. 1985. The distinctive properties of Andosols. Advances in Soil Science, 2: 174–223.



98. WHITE, S. 2001. Perspectivas para la producción de alpacas en el páramo ecuatoriano. En: La agricultura y la ganadería en los páramos. Serie Páramo. GTP/AbyaYala. Quito. 8:33-58.
99. ZEHETNER, F. y W. MILLER. 2006. Soil variations along a climatic gradient in an Andean agro-ecosystem. *Geoderma* 137: 126 – 134.

GLOSARIO



CARACTERÍSTICAS PÁQUICAS: Contiene tiene un horizonte mólico o úmbrico de 50 cm o más de espesor. (WRB, 2007).

COMPLEJOS ORGANOMETÁLICOS: Es el resultado de un reacción entre un anión complexante orgánico (ligando) y un elemento metálico. (Porta et al., 2003).

DEGRADACIÓN IRREVERSIBLE: Hace referencia a las acciones antrópicas directas o indirectas, que pueden provocar un deterioro irreversible de las propiedades físicas que afectan directamente al crecimiento de las plantas: agua disponible, suministro de oxígeno, temperatura y resistencia mecánica. (Porta et al., 2003).

ENDOPEDÓN: Son horizontes que se forman por debajo de un A o de una capa de hojarasca. Son el resultado de procesos de meteorización del material originario o de la translocación de sustancias movilizadas en la parte superior del suelo y acumuladas en el Endopedón. (Porta et al., 2003).

EPIPEDÓN: El epipedón (*Gr. epi, sobre y pedón, suelo*) es un horizonte que se forma en o cerca de la superficie del suelo y en el cual, la mayor parte de la estructura de la roca ha sido destruida. Está oscurecido por la materia orgánica o muestra evidencias de eluviación o ambas. El término estructura de roca, como se usa aquí y en otros lugares de la taxonomía, incluye a la estratificación fina (menor de 5 mm) de sedimentos no consolidados (eólicos, aluviales, lacustres o marinos) y a la saprolita que se deriva de roca consolidada, en donde los minerales no intemperizados conservan su posición relativa. (USDA, 2006)

ESCORRENTÍA SUPERFICIAL: Se denomina escorrentía superficial al agua procedente de la lluvia que circula por la superficie y se concentra en los cauces. La escorrentía superficial es función de las características topográficas, geológicas, climáticas y de vegetación de la cuenca y está íntimamente ligada a la relación entre aguas superficiales y subterráneas de la cuenca. (Porta et al., 2003).

SUELOS HIDRÓFOBOS: Se consideran hidrófobos a los suelos que repelen el agua. Una delgada capa de suelo sobre

o debajo de la superficie del suelo mineral puede volverse hidrófoba tras los efectos del calor intenso. La capa hidrófoba es el resultado de una sustancia cerosa derivada del material de una planta quemada durante un incendio. La sustancia cerosa penetra el suelo como un gas y se solidifica después de enfriarse, formando un recubrimiento ceroso alrededor de las partículas del suelo. La capa es similar a las capas no hidrófobas. (USDA, 2000).

HIERBAS XERÓFITAS: Plantas cuyas características especiales (xeromórficas) le permiten sobrevivir en climas con un prolongado periodo de estiaje. (Manderey et al., 2005).

LIXIVIACIÓN: Es la migración más o menos continuada de un componente del suelo, por la acción de un agente químico (Porta et al., 2003).

METEORIZACIÓN BIOLÓGICA: Los organismos vivos pueden desempeñar un papel muy activo en la meteorización, tanto física como química, pudiendo destacar el desprendimiento de anhídrido carbónico en la respiración. La secreción de productos orgánicos activos en la



meteorización. La formación de complejos quelatos, etc. (Porta et al., 2003).

METEORIZACIÓN FÍSICA: Se debe a la aparición de tensiones importantes en el interior de la roca, que provocan roturas a favor de planos de fractura o de líneas de debilidad, sin que se produzcan cambios apreciables en la mineralogía de los constituyentes. (Porta et al., 2003).

METEORIZACIÓN QUÍMICA: Viene condicionada y está íntimamente ligada a la acción de la materia orgánica. Los agentes principales de la meteorización son los seres vivos y los productos que liberan. (Porta et al., 2003).

NEBLINA: La neblina es un fenómeno meteorológico, concretamente un hidrometeoro, que consiste en la suspensión de muy pequeñas gotas de agua en la atmósfera, de un tamaño entre 50 y 200 micrómetros de diámetro, o de partículas higroscópicas húmedas, que reducen la visibilidad horizontal a una distancia de un kilómetro o más. Ocurre naturalmente como parte del tiempo o de la actividad volcánica. Es común en atmósfera fría debajo de aire templado. Es posible también inducir artificialmente la neblina



con el uso de envases de aerosol, si las condiciones de humedad son apropiadas. (Porta et al., 2003).

SECUESTRO DEL CARBONO: Hace referencia al almacenamiento de C en una forma estable en una cierta escala temporal. El secuestro de carbono es un servicio ambiental basado en la capacidad de los árboles para absorber y almacenar el carbono atmosférico en forma de biomasa. Los niveles de absorción pueden ser mejorados con el manejo adecuado de los ecosistemas forestales, evitando su conversión en fuentes emisoras de gases de efecto invernadero. (Porta et al., 2003).

TIXOTROPÍA: Es la propiedad de cambiar a una consistencia más fluida (sol) bajo acción de una fuerza, de forma que, al parecer ésta, el sistema vuelve progresivamente a un estado más rígido o menos fluido. Es un proceso isoterma, reversible, que no implica cambio de composición ni de volumen y mediante el cual tras un periodo de reposo, el material se hace firme, para no reblandecerse o licuarse cuando se remoldea. (Porta et al., 2003).



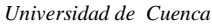
TRANSLOCACIÓN: Implica cambios de posición de un componente, con la consiguiente acumulación, lo que expresa concentración de materiales en ciertos puntos o niveles en el interior del suelo:

a. Translocaciones en solución: por ejemplo carbonatos, yeso y sales solubles.

b. Translocaciones en suspensión: afecta a partículas discretas en el seno del suelo de un horizonte a otro, en el que tiene lugar la acumulación de ciertos componentes como la arcilla, humus, oxihidroxidos, hierro y aluminio. (Porta et al., 2003).



ANEXOS



Anexo 1. Formulario para el levantamiento de información edafológica.

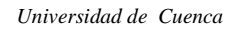
GRUPO DE INVESTIGACIÓN

**Ciencias
de la Tierra
y del Ambiente**





Anexo 2. Formulario de levantamiento de información y de conductividad hidráulica



Marcela Gavilanes
Esteban Landi

Anexo 3. Prueba de Kruskal-Wallis para las variables que muestran diferencias significativas (K_{sat} , C.E., M.O., NT, NH_4 , Na, DA, HS y CC)

Ksat

<i>Nº Horizonte</i>	<i>Tamaño Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>
Epipedón	21	20.4286
Endopedón	13	12.7692

Estadístico = 4.75226 Valor-P = 0.0292568

CE

<i>Nº Horizonte</i>	<i>Tamaño Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>
Epipedón	21	20.881
Endopedón	13	12.0385

Estadístico = 6.35813 Valor-P = 0.0116823

MO

<i>Nº Horizonte</i>	<i>Tamaño Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>
Epipedón	21	21.5714
Endopedón	13	10.9231

Estadístico = 9.18085 Valor-P = 0.00244469

NT

<i>Nº Horizonte</i>	<i>Tamaño Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>
Epipedón	21	21.7143
Endopedón	13	10.6923

Estadístico = 9.83943 Valor-P = 0.00170738

**NH4**

<i>Nº Horizonte</i>	<i>Tamaño Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>
Epipedón	21	22.1429
Endopedón	13	10.0

Estadístico = 11.9424 Valor-P = 0.000548362

Na

<i>Nº Horizonte</i>	<i>Tamaño Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>
Epipedón	21	20.5952
Endopedón	13	12.5

Estadístico = 5.48288 Valor-P = 0.0192009

DA

<i>Nº Horizonte</i>	<i>Tamaño Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>
Epipedón	21	14.2857
Endopedón	13	22.6923

Estadístico = 5.73177 Valor-P = 0.0166582

HS

<i>Nº Horizonte</i>	<i>Tamaño Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>
Epipedón	21	20.7381
Endopedón	13	12.2692

Estadístico = 5.82056 Valor-P = 0.0158374



CC

<i>Nº Horizonte</i>	<i>Tamaño Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>
Epipedón	21	20.7619
Endopedón	13	12.2308

Estadístico = 5.90557 Valor-P = 0.0150907



Anexo 4: Correlación de Spearman para de las propiedades físicas y químicas con la altura.

	Epipedones	Endopedones
Ksat	-0.140	-0.035
pH	-0.202	-0.144
CE	0.015	-0.402
MO %	0.128	-0.104
SB %	-0.231	0.463
CIC	-0.086	-0.524
NT %	-0.121	-0.142
NH4	0.148	0.005
NO3t	-0.385	-0.533
P	-0.276	-0.170
K	-0.319	-0.185
Ca	-0.440	-0.483
Mg	-0.424	-0.440
Na	0.080	0.388
Al+H	0.041	-0.760
Cu	-0.519	-0.712
Fe	-0.174	-0.363



Mn	-0.365	-0.524
Zn	0.106	-0.066
DA	-0.024	0.238
HS	0.316	0.041
CC	0.219	-0.102
PM	0.233	-0.262

Ksat = Conductividad hidráulica saturada; **C.E.** = Conductividad Eléctrica; **M.O.** = Materia orgánica; **S.B.** = Saturación de Bases; **C.I.C.** = Capacidad de Intercambio Catiónico; **NT** = Nitrógeno Total; **Al+H** = Aluminio intercambiable; **D.A.** = Densidad Aparente; **HS** = Humedad de Saturación; **CC** = Capacidad de Campo; **PM** = Punto de marchitez.

Anexo 5. Descripción de sitios de muestreo y análisis químico

SITIO 1

Código: ZP – AN – 1 – 1

Localización: Monte azul, Quimsacocha, Azuay, Ecuador.

Coordenadas UTM: X = 696726



Y = 9661183
Altura: 3814 m s.n.m.
Vegetación: Pajonal (*Calamagrostis intermedia*)
Posición fisiográfica: Pie de monte
Pendiente: 22%
Tipo de suelo: Melanic Aluandic Andosol (Dystric)
Color: 10 YR 1,7/1

SITIO 2

Código: ZAI – HS – 2 – 1
Localización: Monte azul, Quimsacocha, Azuay, Ecuador.
Coordenadas UTM: X = 696687
Y = 9661641
Altura: 3768 m s.n.m.
Vegetación: Almohadilla (*Plantago rigida Kunth*)
Posición fisiográfica: Pie de monte
Pendiente: 2%
Tipo de suelo: Rheic Fibric Histosol (Eutric)
Color: 7.5 YR 2/2

SITIO 3

Código: ZAI – HS – 3 – 1
Localización: Monte azul, Quimsacocha, Azuay, Ecuador.
Coordenadas UTM: X = 696685
Y = 9661742



Altura: 3778 m s.n.m.
Vegetación: Almohadilla (*Plantago rigida Kunth*)
Posición fisiográfica: Pie de monte
Pendiente: 12%
Tipo de suelo: Rheic Fibric Histosol (Eutric)
Color: 7.5 YR 2/2

SITIO 4

Código: ZAI – HS – 2 – 1
Localización: Pendiente/ladera pluviógrafo (3 lagunas), Quimsacocha, Azuay, Ecuador.
Coordenadas UTM: X = 695931
Y = 9662142
Altura: 3890 m s.n.m.
Vegetación: Pajonal (*Calamagrostis intermedia*)
Posición fisiográfica: Ladera
Pendiente: 41,84%
Erosión: Ninguna
Tipo de suelo: Melanic Aluandic Andosol (Dystric)
Color: 10YR 2/1

SITIO 5

Código: ZP – AN – 5 – 1
Localización: Parte baja (Zhurucay alto), Quimsacocha, Azuay, Ecuador.
Coordenadas UTM: X = 696107
Y = 9662035
Altura: 3837 m s.n.m.
Vegetación: Pajonal (*Calamagrostis intermedia*)
Posición fisiográfica: Fondo de valle



Pendiente: 22,3%
Tipo de suelo: Melanic Aluandic Andosol (Dystric)
Color: 10YR 1.7/1

SITIO 6

Código: ZPq – AN – 6 – 1
Localización: Detrás de la entrada a Monte Azul,
Quimsacocha, Azuay, Ecuador.
Coordenadas UTM: X = 696092
Y = 9661810
Altura: 3820 m s.n.m.
Vegetación: Pajonal quemado (*Calamagrostis
intermedia*)
Posición fisiográfica: Pie de monte
Pendiente: 5%
Tipo de suelo: Melanic Aluandic Andosol (Dystric)
Color: 10YR 2/1

SITIO 7

Código: ZBp – HS – 7 – 1
Localización: Bosque Polylepis, Quimsacocha, Azuay,
Ecuador.
Coordenadas UTM: X = 696134
Y = 9661637
Altura: 3769 m s.n.m.
Vegetación: Bosque Polylepis (*Polylepis sp.*)
Posición fisiográfica: Pie de monte
Pendiente: 2%



Tipo de suelo: Rheic Fibric Histosol (Eutric)
Color: 7.5YR 2/2

SITIO 8

Código: ZBp – HS – 8– 1 y ZBp – HS – 8– 2
Localización: Bosque Polylepis, Quimsacocha, Azuay, Ecuador.
Coordenadas UTM: X = 696285
Y = 9661672
Altura: 3775 m s.n.m.
Vegetación: Bosque Polylepis (*Polylepis* sp.)
Posición fisiográfica: Ladera
Pendiente: 17%
Tipo de suelo: Rheic Fibric Histosol (Eutric)
Color: 5YR 2/3 y 5YR 1.7/1

SITIO 9

Código: ZPq – AN – 9 - 1
Localización: Zhurucay alto, Quimsacocha, Azuay, Ecuador.
Coordenadas UTM: X = 696816
Y = 9661015
Altura: 3766 m s.n.m.
Vegetación: Pajonal (*Calamagrostis intermedia*)
Posición fisiográfica: Ladera
Pendiente: 20%
Tipo de suelo: Melanic Aluandic Andosol (Dystric)



Color: 10YR 1.7/1

SITIO 10

Código: ZPa – HS –10 – 1 y ZPa – HS –10 – 2

Localización: Salida abajo bosque de polylepis,
Quimsacocha, Azuay, Ecuador.

Coordenadas UTM: X = 696262

Y = 9661591

Altura: 3758 m s.n.m.

Vegetación: Pasto (*Poa pratensis*)

Posición fisiográfica: Pie de monte

Pendiente: 6%

Tipo de suelo: Rheic Fibric Histosol (Eutric)

Color: 7.5YR 3/4 y 7.5YR 2/3

SITIO 11

Código: ZAI – HS –11 – 1 y ZAI – HS –11 – 2

Localización: Zhurucay alto, Quimsacocha, Azuay,
Ecuador.

Coordenadas UTM: X = 696546

Y = 9661533

Altura: 3753 m s.n.m.

Vegetación: Almohadilla (*Plantago rigida Kunth*)

Posición fisiográfica: Pie de monte

Pendiente: 0%

Tipo de suelo: Rheic Fibric Histosol (Eutric)

Color: 7.5YR 2.5/3 y 10YR 2/1



SITIO 12

Código: ZP – AN – 12 - 1
Localización: Cantagallo (junto a la vía – entrada),
Quimsacocha, Azuay, Ecuador.
Coordenadas UTM: X = 697098
Y = 9661564
Altura: 3861 m s.n.m.
Vegetación: Pajonal (*Calamagrostis intermedia*)
Posición fisiográfica: Ladera
Pendiente: 66,6%
Tipo de suelo: Melanic Aluandic Andosol (Dystric)
Color: 10YR 1.7/1

SITIO 13

Código: ZBPi – AN – 13 - 1
Localización: Bosque de pino, Quimsacocha, Azuay,
Ecuador.
Coordenadas UTM: X = 697096
Y = 9660863
Altura: 3850 m s.n.m.
Vegetación: Bosque de pino (*Pinus patula*)
Posición fisiográfica: Ladera cóncava
Pendiente: 15,91%
Tipo de suelo: Melanic Aluandic Andosol (Dystric)
Color: 10YR 1.7/1



SITIO 14

Código: ZBPi – AN – 14 - 1
Localización: Bosque de pino, Quimsacocha, Azuay, Ecuador.
Coordenadas UTM: X = 696963
Y = 9660562
Altura: 3763 m s.n.m.
Vegetación: Bosque de pino (*Pinus patula*)
Posición fisiográfica: Pie de monte
Pendiente: 5%
Tipo de suelo: Melanic Aluandic Andosol (Dystric)
Color: 7.5YR 2.5/2

SITIO 15

Código: ZPq – AN – 15 – 1 y ZPq – AN – 15 – 2
Localización: Bosque de pino (bajo), Quimsacocha, Azuay, Ecuador.
Coordenadas UTM: X = 695661
Y = 9660100
Altura: 3763 m s.n.m.
Vegetación: Pajonal quemado (*Calamagrostis intermedia*)
Posición fisiográfica: Ladera cóncava
Pendiente: 5%
Tipo de suelo: Melanic Aluandic Andosol (Dystric)
Color: 10YR 1.7/1 y 10YR 1.7/1



SITIO 16

Código: ZP – UM – 16 – 1 y ZP – UM – 16 – 2
Localización: Junto a reservorio, Quimsacocha, Azuay, Ecuador.
Coordenadas UTM: X = 697123
Y = 9659787
Altura: 3708 m s.n.m.
Vegetación: Pajonal (*Calamagrostis intermedia*)
Posición fisiográfica: Pie de monte
Pendiente: 14%
Tipo de suelo: Melanic Aluandic Andosol (Dystric)
Color: 5YR 2.5/1 y 10YR 3/2

SITIO 17

Código: ZBp – HS –17 – 1, ZBp – HS –17 – 2 y ZBp – HS –17 – 3
Localización: Bosque polylepis, Quimsacocha, Azuay, Ecuador.
Coordenadas UTM: X = 696345
Y = 9660001
Altura: 3667 m s.n.m.
Vegetación: Bosque Polylepis (*Polylepis sp.*)
Posición fisiográfica: Fondo de valle
Pendiente: 3%
Tipo de suelo: Rheic Fibric Histosol (Eutric)
Color: 10YR 2/2, 10YR 1.7/1 y 5YR 1.7/1



SITIO 18

Código: ZPq – AN – 18 – 1 y ZPq – AN – 18 – 2
Localización: La Comuna, Quimsacocha, Azuay, Ecuador.
Coordenadas UTM: X = 695979
Y = 9659451
Altura: 3604 m s.n.m.
Vegetación: Pajonal quemado (*Calamagrostis intermedia*)
Posición fisiográfica: Ladera
Pendiente: 40%
Tipo de suelo: Melanic Aluandic Andosol (Dystric)
Color: 10YR 2/1 y 10YR 7/8

SITIO 19

Código: ZBPi – AN – 19 – 1
Localización: La Comuna, Quimsacocha, Azuay, Ecuador.
Coordenadas UTM: X = 695807
Y = 9659515
Altura: 3622 m s.n.m.
Vegetación: Bosque de pino (*Pinus patula*)
Posición fisiográfica: Ladera cóncava
Pendiente: 30%
Tipo de suelo: Melanic Aluandic Andosol (Dystric)
Color: 10YR 1.7/1



SITIO 20

Código: ZP – AN – 20 – 1 y ZP – AN – 20 – 2
Localización: La Comuna, Quimsacocha, Azuay, Ecuador.
Coordenadas UTM: X = 696274
Y = 9658818
Altura: 3530 m s.n.m.
Vegetación: Pajonal (*Calamagrostis intermedia*)
Posición fisiográfica: Ladera
Pendiente: 48,51%
Tipo de suelo: Melanic Aluandic Andosol (Dystric)
Color: 10YR 1.7/1 y 10YR 1.7/1

SITIO 21

Código: ZPa – AN – 21 – 1 y ZPa – AN – 21 – 2
Localización: Vivero (cerca de campamento), Quimsacocha, Azuay, Ecuador.
Coordenadas UTM: X = 696941
Y = 9658890
Altura: 3655 m s.n.m.
Vegetación: Cultivo de papas (*Solanum tuberosum*)
Posición fisiográfica: Ladera
Pendiente: 46,66%
Tipo de suelo: Melanic Aluandic Andosol (Dystric)
Color: 10YR 1.7/1 y 2.5YR 3/3

SITIO 22



Código: ZPa – HS –22 – 1 y ZPa – HS –22 – 1
Localización: La Comuna, Quimsacocha, Azuay,
Ecuador.
Coordenadas UTM: X = 696274
Y = 9658001
Altura: 3661 m s.n.m.
Vegetación: Pasto (*Lolium multiflorum*) "ray grass
variedad italiano"
Posición fisiográfica: Pie de monte
Pendiente: 9,2%
Tipo de suelo: Melanic Aluandic Andosol (Dystric)
Color: 10YR 1.7/1 y 7.5YR 4/3

SITIO 23

Código: ZPa – AN –23 – 1
Localización: La Comuna, Quimsacocha, Azuay,
Ecuador.
Coordenadas UTM: X = 696309
Y = 9657947
Altura: 3453 m s.n.m.
Vegetación: Pasto (*Poa pratensis*)
Posición fisiográfica: Ladera
Pendiente: 40,35%
Tipo de suelo: Melanic Aluandic Andosol (Dystric)
Color: 10YR 1.7/1

SITIO 24



Código: ZBMa – AC –24 – 1 y ZBMa – AC –24 – 2
Localización: Bosque montano alto, Quimsacocha,
Azuay, Ecuador.
Coordenadas UTM: X = 696534
Y = 9657780
Altura: 3412 m s.n.m.
Vegetación: Bosque montano
Posición fisiográfica: Ladera
Pendiente: 65, 73%
Tipo de suelo: Folic Cambisol (Eutric)
Color: 10YR 6/6 y 2.5YR 3/3

SITIO 25

Código: ZP – AN – 25 – 1 y ZP – AN – 25 – 2
Localización: La Roca, Quimsacocha, Azuay, Ecuador.
Coordenadas UTM: X = 696201
Y = 9657696
Altura: 3510 m s.n.m.
Vegetación: Pajonal (*Calamagrostis intermedia*)
Posición fisiográfica: Ladera Cóncava
Pendiente: 27%
Tipo de suelo: Melanic Aluandic Andosol (Dystric)
Color: 5YR 2/2 y 7.5YR 3/3

SITIO 27

Código: ZPa – AN –27 – 1
Localización: Aguarongo, Quimsacocha, Azuay,
Ecuador.



Coordenadas UTM: X = 696785
Y = 9656954
Altura: 3228 m s.n.m.
Vegetación: Pasto (*Poa pratensis*)
Posición fisiográfica: Ladera Cóncava
Pendiente: 40%%
Tipo de suelo: Folic Cambisol (Eutric)
Color: 10YR 1.7/1

SITIO 28

Código: ZAI – HS –28 – 1
Localización: Pantano Comuna, Quimsacocha, Azuay, Ecuador.
Coordenadas UTM: X = 695026
Y = 9661307
Altura: 3799 m s.n.m.
Vegetación: Almohadilla (*Plantago rigida Kunth*)
Posición fisiográfica: Fondo de valle
Pendiente: 4%
Tipo de suelo: Rheic Fibric Histosol (Eutric)
Color: 5YR 2.5/2

SITIO 30

Código: ZAI – HS –30 – 1
Localización: Pantano Comuna, Quimsacocha, Azuay, Ecuador.
Coordenadas UTM: X = 694954



Y = 9660348
Altura: 3776 m s.n.m.
Vegetación: Almohadilla (*Plantago rigida Kunth*)
Posición fisiográfica: Fondo de valle
Pendiente: 3%
Tipo de suelo: Rheic Fibric Histosol (Eutric)
Color: 5YR 2.5/2

SITIO 32

Código: ZBPi – AN – 32 – 1
Localización: Bosque de Pino, Quimsacocha, Azuay, Ecuador.
Coordenadas UTM: X = 696991
Y = 9657965
Altura: 3476 m s.n.m.
Vegetación: Bosque de pino (*Pinus pátula*)
Posición fisiográfica: Ladera
Pendiente: 25%
Tipo de suelo: Melanic Aluandic Andosol (Dystric)
Color: 10YR 1.7/1

SITIO 33

Código: ZP – CM –33 – 1 y ZP – CM –33 – 2
Localización: Parte baja 3 Lagunas, Quimsacocha, Azuay, Ecuador.
Coordenadas UTM: X = 695246



Y = 9661878

Altura: 3848 m s.n.m.
Vegetación: Pajonal (*Calamagrostis intermedia*)
Posición fisiográfica: Pie de monte
Pendiente: 8%
Tipo de suelo: Follic Cambisol (Eutric)
Color: 10YR 3/2 y 7.5YR 4/6

SITIO 34

Código: ZP – AN – 34 – 1
Localización: Parte baja 3 Lagunas, Quimsacocha, Azuay, Ecuador.
Coordenadas UTM: X = 695553
Y = 9661314
Altura: 3838 m s.n.m.
Vegetación: Pajonal (*Calamagrostis intermedia*)
Posición fisiográfica: Cima aguzada
Pendiente: 12%
Tipo de suelo: Melanic Aluandic Andosol (Dystric)
Color: 10YR 1.7/1

SITIO 35

Código: ZPa – AN – 35 – 1
Localización: Y de la Comuna, Quimsacocha, Azuay, Ecuador.
Coordenadas UTM: X = 697082
Y = 9657888
Altura: 3471 m s.n.m.
Vegetación: Pasto (*Poa pratensis*)



Posición fisiográfica: pie de monte
Pendiente: 5%
Tipo de suelo: Melanic Aluandic Andosol (Dystric)
Color: 10YR 1.7/1

SITIO 36

Código: ZCp – AN – 36 – 1 y ZCp – AN – 36 – 2
Localización: Vivero, Quimsacocha, Azuay, Ecuador.
Coordenadas UTM: X = 697217
Y = 9657812
Altura: 3443 m s.n.m.
Vegetación: Cultivo de papas (*Solanum tuberosum*)
Posición fisiográfica: Ladera
Pendiente: 20%
Tipo de suelo: Melanic Aluandic Andosol (Dystric)
Color: 10YR 1.7/1 y 10YR 6/6